



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL ELÉCTRICO

Título del proyecto:

CONSIDERACIONES EN EL ÁMBITO ELÉCTRICO PARA  
UN SISTEMA DE BOMBEO EFICIENTE

Alumno:

Andrés Urgelles Asensio

Tutores:

Jesús Martínez Patiño

Jesús López

# INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Índice</b>                            | <b>2</b>  |
| <b>Presentación</b>                      | <b>4</b>  |
| <b>Introducción</b>                      | <b>7</b>  |
| <b>1) Tipos de bombas</b>                | <b>8</b>  |
| <b>1.1) Bomba centrífuga</b>             | <b>10</b> |
| <b>2) Tipos de impulsor</b>              | <b>12</b> |
| <b>3) Eficiencia bomba centrífuga</b>    | <b>15</b> |
| <b>Caso de estudio</b>                   | <b>21</b> |
| <b>Cálculos y resultados</b>             | <b>23</b> |
| <b>1) Caso de estudio 1HP</b>            | <b>24</b> |
| <b>1.1) Bombas empleadas</b>             | <b>24</b> |
| <b>1.2) Comparación bombas empleadas</b> | <b>26</b> |
| <b>1.3) Cálculos</b>                     | <b>27</b> |
| <b>1.3.1) Recopilación datos</b>         | <b>27</b> |
| <b>1.3.2) Cálculo curva eficiencia</b>   | <b>28</b> |
| <b>1.3.3) Estudio económico</b>          | <b>34</b> |
| <b>1.3.4) Resultados</b>                 | <b>36</b> |
| <b>1.3.5) Comparación resultados</b>     | <b>53</b> |
| <b>2) Caso estudio 20HP</b>              | <b>54</b> |

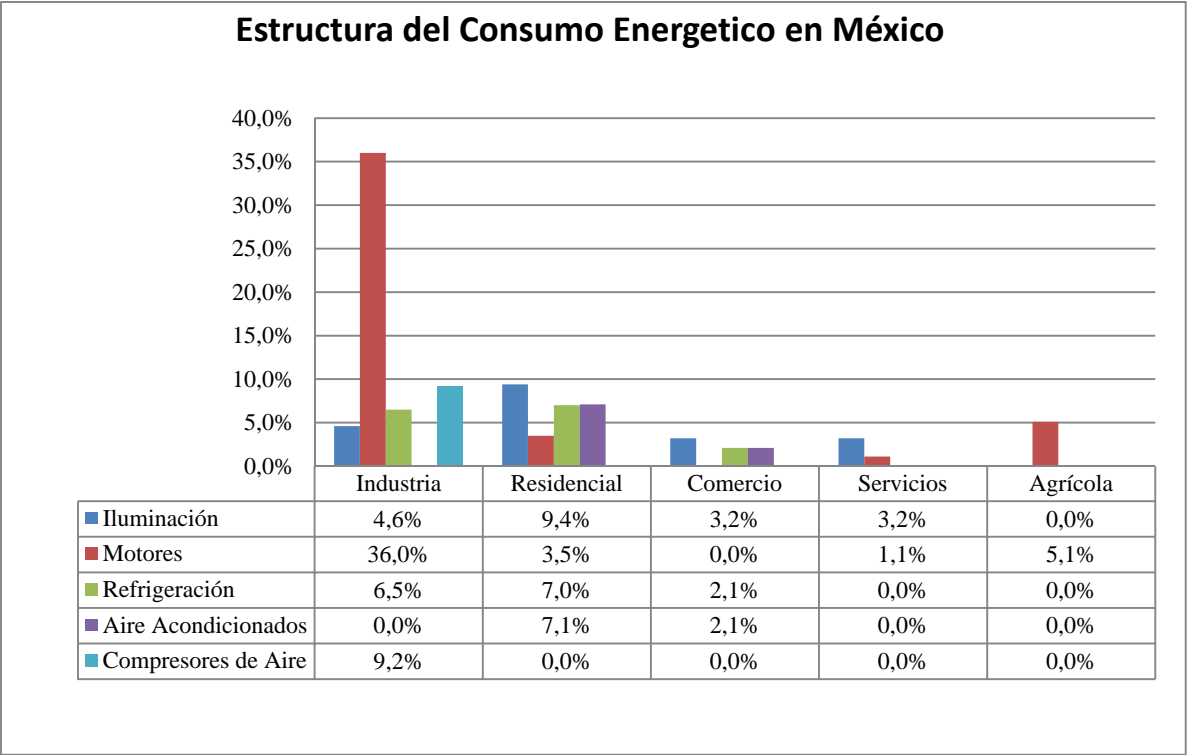
|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 2.1) Bombas empleadas             | 54 |
| 2.2) Comparación bombas empleadas | 56 |
| 2.3) Cálculos                     | 57 |
| 2.3.1) Recopilación datos         | 57 |
| 2.3.2) Cálculo curva eficiencia   | 58 |
| 2.3.3) Estudio económico          | 65 |
| 2.3.4) Resultados                 | 67 |
| 2.3.5) Comparación resultados     | 84 |
| Conclusiones                      | 85 |
| Referencia bibliográfica          | 88 |

# PRESENTACIÓN

Como parte del programa de intercambio Palafox entre la Universidad Pública de Navarra y la Universidad de Guanajuato se ha llevado a cabo la tesis acerca de las consideraciones en el ámbito eléctrico para un sistema de bombeo eficiente.

En la mayoría de las industrias, la energía consumida por los sistemas de bombeo es responsable en gran parte del gasto de la electricidad. En algunos casos, la energía se utiliza de manera eficiente; mientras que en otros no. Los operadores pueden estar muy familiarizados con el control, confiabilidad y disponibilidad del sistema de bombeo, pero dejan a un lado la eficiencia de dicho sistema. El costo de la energía consumida por las bombas normalmente está por encima del costo del ciclo de vida de una bomba.

En la siguiente figura, se puede observar que los motores son las máquinas eléctricas más utilizadas en la industria, y ocupan un porcentaje considerable en los otros sectores energéticos del país. De ahí la importancia de mejorar la eficiencia de estas máquinas.



**FIGURA 1.** Estructura del consumo energético en México

El tener un motor eficiente proporciona importantes ventajas, como la reducción de los costes energéticos y limita las emisiones de carbono.

En un sistema simple de bombeo se toma un fluido de un tanque, se bombea y es llevado a otro tanque que se encuentra a más altura a través de tuberías, las cuales constan de válvulas para controlar el flujo. También incluye una línea de recirculación con otra válvula de control de flujo. La bomba es impulsada por un motor eléctrico alimentado desde un centro de control de motores que a su vez se encuentra conectado a una estación de transformación.

La eficiencia de la bomba será por tanto el resultado de dividir la potencia hidráulica que se entrega al sistema entre la potencia mecánica que recibe esta. Y la eficiencia del conjunto motor bomba, que también se conoce como eficiencia cable agua, será igual a dividir la potencia hidráulica entregada al sistema entre la potencia eléctrica entregada desde el centro de control de motores al motor.

# INTRODUCCIÓN

Los motores eléctricos en Estados Unidos conforman dos tercios de todo el consumo eléctrico industrial, los sistemas de bombeo utilizan el 25% de este consumo. Un estudio hecho por el Departamento de Energía de Estados Unidos estima ahorros de energía de aproximadamente 20% (20,000GWh/año), probando técnicas y tecnologías. Estos ahorros potenciales de energía significan grandes ahorros en los costos de instalaciones industriales. Por ejemplo, un molino de papel puede llegar a ahorrar en promedio 200,000 dólares al año, a través de la optimización del sistema de bombeo, basado en un estudio del DOE; además, se ha demostrado que la eficiencia energética mejora los sistemas industriales logrando dar mayor fiabilidad, productividad, y reducción de los costos ambientales.

Este trabajo consiste en integrar la eficiencia del sistema bomba-motor analizando y proponiendo acciones en la operación conjunta de un sistema de bombeo en un proceso industrial; buscando prolongar la durabilidad del sistema y obteniendo beneficios económicos.

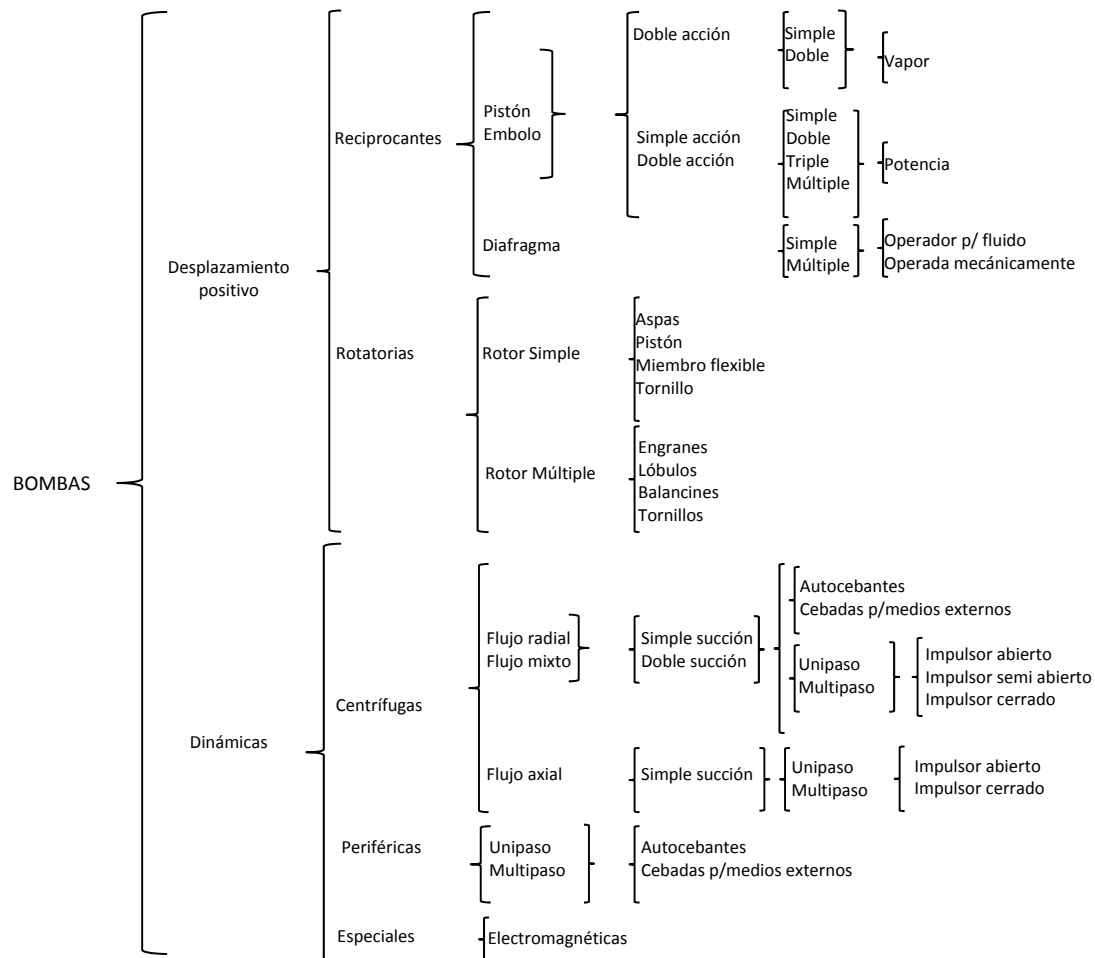
## **1) Tipos de Bombas**

Debido a la existencia de diferentes tipos de bombas es conveniente hacer una adecuada clasificación. La que se considera más completa, es la del “Hydraulic Institute”, en su última edición. El mencionado Instituto tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en el mundo entero y se ha preocupado por mantener al día los llamados “estándar”.

En la figura 1.1 podemos apreciar la gran diversidad de tipos que existen de bombas. Primero se separan en el grupo de bombas de desplazamiento positivo y en bombas dinámicas o también conocidas como bombas rotodinámicas. Las primeras operan de forma volumétrica: desplazan un determinado volumen por unidad de tiempo, independientemente de la presión. Son bombas de émbolos, paletas, engranajes, etc., utilizadas en óleo hidráulica, donde se requieren unos caudales ínfimos con presiones muy elevadas. Las bombas rotodinámicas, en cambio, consiguen incrementar a



energía del fluido a base de aumentar la energía cinética –por medio de deflexión y el efecto centrífugo que provocan los álabes del rodete- recuperando esta energía posteriormente en forma de presión.



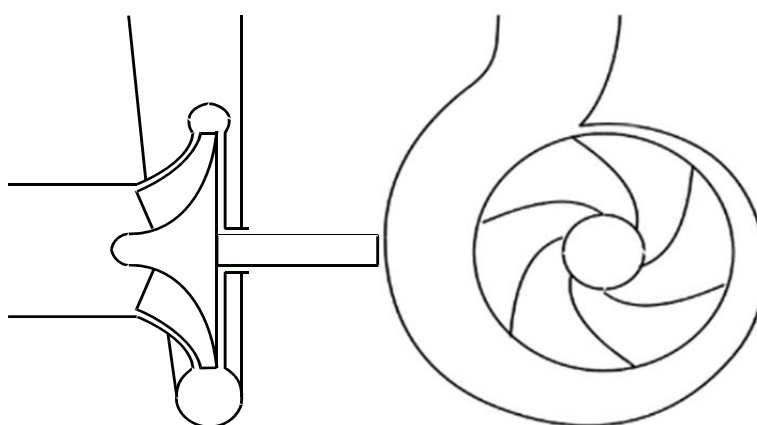
**FIGURA 1.1** Clasificación de la bombas

La principal forma de clasificación de las bombas rotodinámicas es separarlas en bombas axiales (*bombas periféricas*), mixtas (*bombas especiales*) y radiales (*bombas centrífugas*), según la dirección de salida del flujo con respecto al eje. La utilización de bombas axiales está indicada cuando se necesitan grandes caudales con pequeñas alturas de elevación. Las centrífugas, cuando se necesitan grandes alturas y pequeños caudales. Las bombas mixtas constituyen un caso medio.

## 1.1) Bomba Centrífuga

Las bombas centrífugas son aquellas en las que el fluido ingresa a está por el eje y sale siguiendo una trayectoria periférica por la tangente, el flujo es radial. Consisten en un rodete montado sobre una carcasa o voluta. El líquido entra en el centro del rodete y es acelerado por el giro de este, la energía cinética del fluido se transforma en energía potencial en la salida. Estos equipos constan básicamente de:

- Elemento giratorio: formados por un eje y uno o varios rodetes.
- Elemento estacionario (carcasa)
- Elementos de cierre



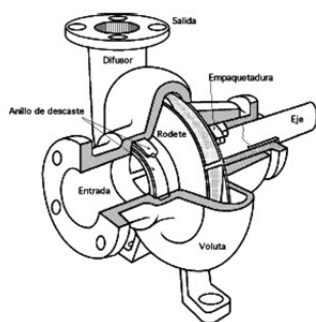
**FIGURA 1.1.1** Esquema de una bomba centrífuga

El impulsor o rodete está formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas según la misión que vaya a desarrollar la bomba. Estos álabes giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo este la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, acelerándose y absorbiendo un trabajo. Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo estas partículas proyectadas hacia el exterior por la fuerza

centrífuga, creando así una altura dinámica, de tal forma que las partículas abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

La voluta es una parte fija que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. También es un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una corona directriz de álabes que guía al líquido antes de introducirlo en la voluta.



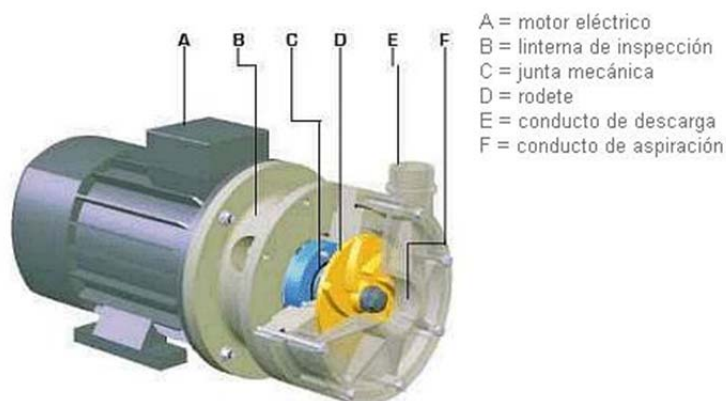
**FIGURA 1.1.2** Partes de la bomba centrífuga

Normalmente en las bombas situadas por encima del nivel de aspiración, la tubería de aspiración y la misma bomba tienen que estar llenas de líquido para poder arrancar. Si no se extrae el aire, la depresión que producen en la aspiración es tan pequeña que no consiguen absorber el líquido. La causa es que la altura en las bombas rotodinámicas viene dado por los triángulos de velocidades a la entrada y a la salida del rodete. Las bombas autocebantes

tienen al menos una etapa capaz de trabajar de forma volumétrica y hacer el vacío en la tubería de aspiración.

Una parte importante de la bomba y que no hemos mencionado hasta aquí, es el motor eléctrico, el cuál es el objeto de estudio del presente trabajo, pues el objetivo es mejorar su eficiencia. Es en el grupo motor – bomba donde se convierte la energía eléctrica en energía hidráulica. Los motores habituales en bombas centrífugas son eléctricos de corriente alterna y potencias entre 1 y 100 HP, con revoluciones variable en función de frecuencia y voltaje de la línea. Los progresos en los motores eléctricos han propiciado el desarrollo de bombas centrífugas, mucho más ligeras y baratas.

La bomba y el motor deben estar perfectamente alineados y unidos por medio de un acople rígido o flexible, todo ello montado sobre una base metálica, la cual descansará sobre la cimentación fijada por medio de pernos de anclaje.



**FIGURA 1.1.3** Grupo motor – bomba

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extenso en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier servicio.

## 2) Tipos de impulsor

**Impulsor abierto:** Los alabes son libres en ambas caras y están sujetas por un anillo central por donde ingresa el líquido. Sus aplicaciones son en agua potable y en líquidos residuales. Son de mantenimiento sencillo por el fácil acceso a los alabes de la bomba. Las principales desventajas son su debilidad

estructural y la baja eficiencia en comparación con la de un impulsor cerrado, pero tiene la ventaja que puede dejar pasar restos de materiales relativamente grandes sin obstruirse. En la práctica no se hace distinción entre impulsores abiertos y semiabiertos, designando a ambos como abiertos, en oposición a los cerrados.



**FIGURA 2.1.** Impulsor abierto

**Impulsor semiabierto:** En este caso, los alabes son libres en una de las caras y fijados por el otro en un disco, su uso es apropiado en líquidos viscosos y en aguas residuales, tienen mayor resistencia a la abrasión que los impulsores cerrados. Más apropiados que los abiertos para trabajar con líquidos a altas temperaturas. Presentan mayor facilidad y menor costo de mantenimiento que los impulsores cerrados, y tienen mayor estabilidad que los impulsores abiertos.

El empuje axial en los impulsores abiertos es mayor que en los cerrados, pues la parte anterior está sometida a una presión media menor; para paliar este defecto se les provee de álabes posteriores, que disminuyen en gran manera la presión media en la cara posterior. También sirven para evitar que el líquido quede estancado cerca del eje y empaquetaduras, ya que si aquel fuese abrasivo podría resultar muy perjudicial.



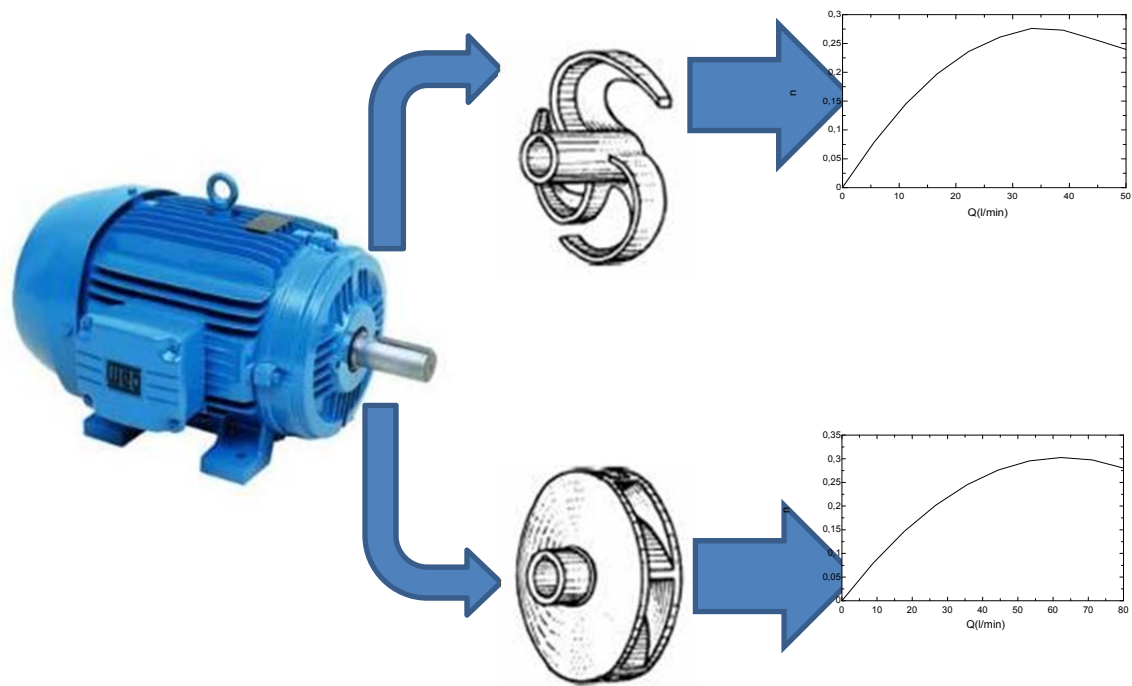
**FIGURA 2.2** Impulsor semiabierto

**Impulsor cerrado:** El impulsor está constituido de dos discos paralelos que encierran totalmente las vías del agua desde el orificio de succión hasta la periferia del impulsor. El flujo en el impulsor es mejor orientado y el rendimiento es mayor. Su aplicación es recomendable en líquidos limpios, ya que tiene poca resistencia a la abrasión. Los impulsores cerrados pueden resistir mucho mejor cualquier flexión del eje, o contracciones y dilataciones mayores de las previstas, por lo que son más adecuados para servicios de altas temperaturas. Tienen la desventaja de que sus canales son normalmente inaccesibles para cualquier tipo de mecanizado, lo que exige métodos constructivos especiales, más difíciles, con modelos más complicados que en los abiertos. Hidráulicamente, el rozamiento de disco al tener el impulsor dos paredes, es doble que en los abiertos, pero las pérdidas por fugas son menores. La posibilidad de obstrucción con líquidos sucios es mayor y para ello se diseñan impulsores especiales con oído de gran área, canales lo más amplios posibles, pequeño número de álabes, 2 o 3, y éstos con los bordes de entrada redondeados.



**FIGURA 2.3.**Impulsor cerrado

Para demostrar que dependiendo del impulsor se obtienen eficiencias y resultados económicos diferentes en este trabajo se compararan bombas centrífugas con idénticas características salvo el tipo de impulsor y se obtendrán resultados diferentes como se muestra en la siguiente figura.



**FIGURA 2.4.**Procedimiento realización caso estudio

### 3) Eficiencia de la bomba centrífuga

Las bombas han tenido y tienen un papel decisivo en el desarrollo de la humanidad. No es posible imaginar los procesos industriales modernos sin la participación de estos equipos. Se encuentran presentes en las grandes centrales termoeléctricas, en las empresas de procesos químicos, en las industrias alimenticias, en los grandes equipos automotores. Juegan un papel importante en el confort de los grandes asentamientos humanos con el suministro de agua, evacuación de aguas residuales y suministro de aire acondicionado. También presentan una gran oportunidad para implementar en ellas técnicas de ahorro de energía. Es por ello que en este apartado se explica acerca de la eficiencia de la bomba centrífuga, información que nos será de utilidad de los capítulos posteriores.

Comenzaremos por definir los términos habituales para caracterizar una bomba, definiciones que se toman según la NOM – 004 – ENER – 2008, Norma Oficial Mexicana que regula la eficiencia energética de bombas y

conjunto motor – bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW.

- **Flujo volumétrico o caudal (Q):** Es el volumen de líquido que maneja una bomba por unidad de tiempo en las condiciones de operación.
- **Carga dinámica total (H):** Es la suma algebraica de las cargas totales de succión y se determina con la siguiente ecuación, sus unidades son metros de columna de agua (m.c.a):

$$H = h_d - h_s$$

$$H = (\pm P_{gd} \pm h_{vd} \pm z_d) - (\pm P_{gs} + h_{vs} + z_s)$$

Dónde:

H: Carga dinámica total en m.c.a

$h_d$ : Carga en la descarga, en m.c.a

$h_s$ : Carga en la succión, en m.c.a.

$P_{gs}$ : Presión en la succión de la bomba, en Pa, se mide directamente en el manómetro en la succión y convertida a, m.c.a.

$h_{vs}$ : Carga dinámica en la succión, en m.c.a. (*es despreciable para fine prácticos*).

$z_s$ : Distancia vertical desde el nivel de referencia al centro del manómetro en la succión, en m.c.a.

$P_{gd}$ : Presión en la descarga de la bomba, en Pa.

$h_{vd}$ : Carga dinámica en la descarga en m.c.a. (*es despreciable para fine prácticos*).

$z_d$ : Distancia vertical desde el nivel de referencia al centro del manómetro en la descarga, en m.c.a.



- **Eficiencia de la bomba ( $\eta_b$ ):** Es la razón de la potencia hidráulica en la descarga de la bomba ( $P_s$ ) entre la potencia mecánica suministrada a la flecha de la bomba ( $P_{eb}$ ).
- **Potencia Hidráulica ( $P$ ):** Es la potencia cedida por la bomba al fluido expresada habitualmente en C.V. (*caballos de vapor*).
- **Potencia absorbida por el motor:** Es mayor que la potencia absorbida por la bomba, pues hay que añadirle las pérdidas internas del motor eléctrico.
- **Rendimiento mecánico:** o rendimiento de la bomba, equivale al cociente de dividir la potencia hidráulica y la potencia absorbida, se expresa en porcentaje y es siempre menor que la unidad.
- **Eficiencia o rendimiento hidráulico ( $\eta$ ):** Es el coeficiente resultante de dividir la potencia hidráulica por la potencia suministrada al eje de la bomba, por lo que representa el porcentaje de potencia que se transmite al fluido respecto del total suministrado al eje.
- **Carga neta de aspiración (NPHS):** (*Net Positive Suction Head*) es la carga de aspiración total, determinada en la boca de succión de la bomba, menos la presión de vapor líquido a la temperatura que circula, ambas expresadas en metros.
- **$NPSH_d$  (disponible):** Es una característica de la misma. Es la mínima energía necesaria que debe tener un líquido en la entrada de la bomba, para que no se presente cavitación.

$$NPSHD_d > NPSH_r$$

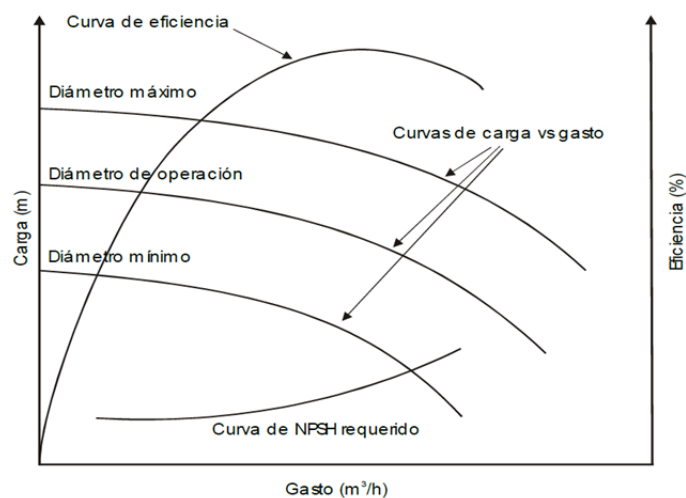
- **Velocidad específica:** Es una correlación entre la capacidad, altura y velocidad de una bomba a eficiencia óptima. Su expresión es:

$$\frac{Q}{N^3 D^5}$$

Donde  $N$ : son revoluciones por minuto [rpm]  
 $Q$ : Flujo volumétrico. —  
 $H$ : altura [mcl]

Las curvas características son la representación gráfica de las variables antes mencionadas y nos indican cual es el punto de funcionamiento de la bomba ante unas condiciones dadas. También el rendimiento de la bomba y el punto de mayor rendimiento, (*BEP*, por sus siglas en ingles), y el lugar recomendado de trabajo de la bomba. Esta información es brindada por los fabricantes de la máquina. Incluyen los siguientes datos:

- La curva de carga vs caudal.
- La curva de NPSH vs caudal.
- La curva de eficiencia vs caudal, también conocida como curvas de isoficiencia.
- La curva de potencia vs caudal.



**FIGURA 3.1** Ejemplo de las curvas características de una bomba



|       |                              |                               |
|-------|------------------------------|-------------------------------|
| Donde | Q: flujo volumétrico         | $\left[\frac{m^3}{s}\right]$  |
|       | H: carga total               | $[m]$                         |
|       | $\rho$ : densidad del fluido | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |
|       | g: aceleración gravitacional | $\left[\frac{m}{s^2}\right]$  |

De modo que la eficiencia de la bomba se define de la siguiente manera:

$$\eta_{Bomba} (\%) = \frac{\rho g Q H}{Potencia\ Demandada\ por\ la\ Bomba \times 1,000 \frac{W}{kW}}$$

Si sabemos cuál es la eficiencia de bomba y la potencia hidráulica se puede establecer la potencia requerida por la bomba o la que es entregada por el motor, mediante la ecuación:

$$Potencia\ Demandada\ por\ la\ Bomba\ (kW) = \frac{\rho g Q H}{\eta_{Bomba} \times 1,000 \frac{W}{kW}}$$

Al conocer la potencia requerida por la bomba y la eficiencia del motor, se puede determinar la potencia requerida (kW) por el conjunto bomba – motor con la siguiente ecuación:

$$Potencia\ requerida(kW) = \frac{Potencia\ Demandada\ por\ la\ Bomba}{\eta_{Motor}}$$

# CASO DE ESTUDIO

El objetivo de este estudio es elegir una bomba adecuada para las necesidades del usuario con un menor costo a lo largo de su vida útil. Para ello se realizarán dos casos de estudio, uno con bombas de 1HP, destinada a uso más bien doméstico y de precio bajo, y otro con bombas de 20HP, utilizadas básicamente en la industria y de precio alto. Para cada una de las potencias se compararán dos bombas con las mismas características salvo con la diferencia de tener rodets diferentes y se comprobará que con ese cambio las prestaciones de la bomba varían bastante.

Para comparar se utilizará un rango de caudales donde ambas bombas pueden trabajar. Se podrá observar como para un mismo caudal cambia la eficiencia y el costo de la factura a lo largo de la vida útil de la bomba.

Para el cálculo del costo de la factura se mirará el diferente uso que se le dé a la bomba. Si la bomba es para un fin doméstico trabajará una hora al día, si es para uso profesional se mirarán las diferentes posibilidades, que trabaje durante un turno (8 horas al día), que trabaje durante dos turnos (16 horas al día) o que esté trabajando durante el día completo (24 horas). También se usarán diferentes precios de KW/hora (0,765, 1, 1,5 y 2).

Los resultados económicos se mostrarán en unas gráficas donde se podrá observar las diferencias existentes en la factura de las bombas durante la vida útil de estas para un mismo caudal y el ahorro económico que se puede llegar a obtener con la correcta elección de la bomba.

# CALCULOS Y RESULTADOS

## 1) CASO DE ESTUDIO DE BOMBAS DE 1HP

### 1.1) Bombas empleadas

1) Nombre: JCRm 10M.

Tipo de Rodete: Cerrado

Campo de prestaciones:

- Caudal hasta 80 l/min (4,8m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta 72 m
- Altura aspiración manométrica hasta 9m

Curva característica:



FIGURA 1.1.1. Bomba JCRm 10M

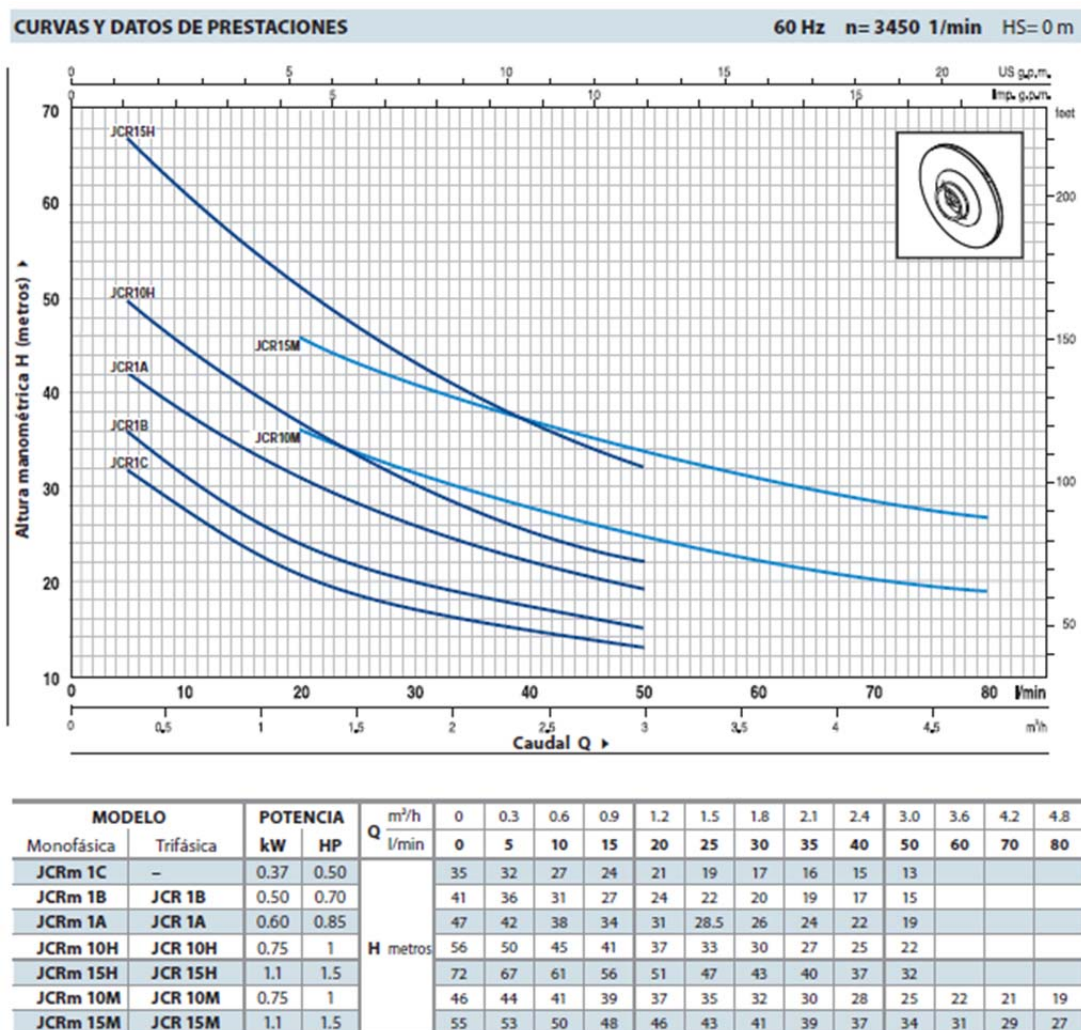


FIGURA 1.1.2. Curva característica JCRm 10M



2) Nombre: PKm 80.

Tipo de Rodete: Abierto

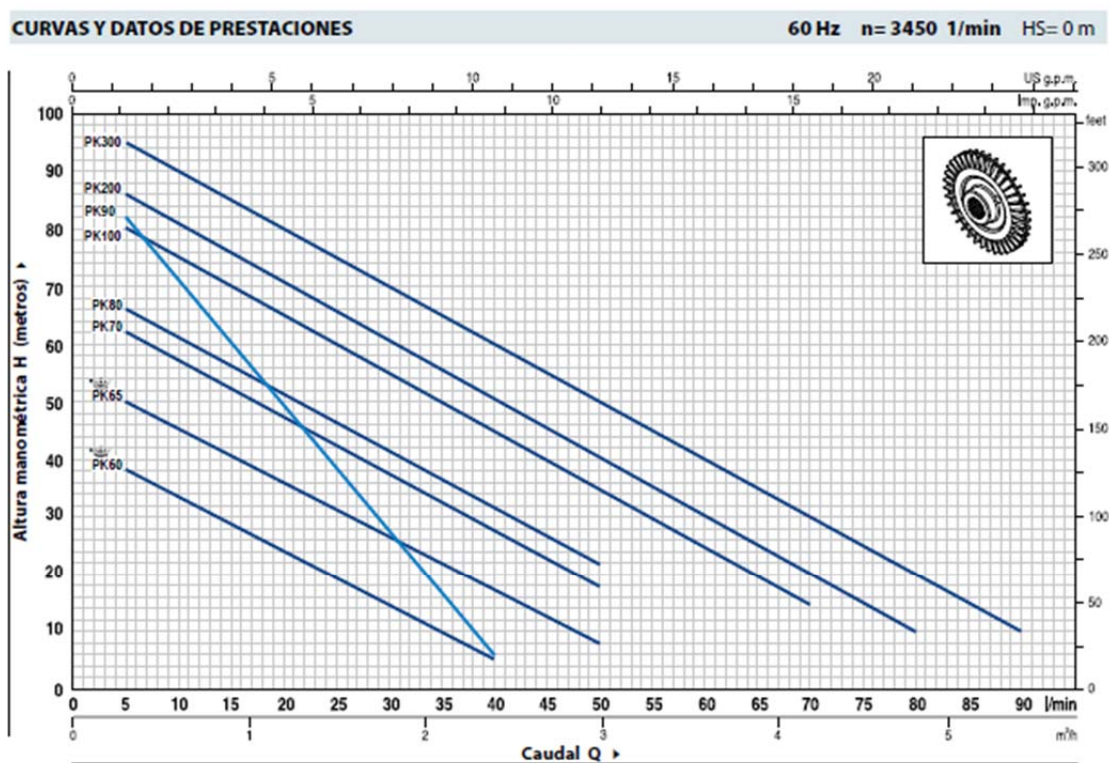
Campo de prestaciones:

- Caudal hasta 90 l/min (5,4m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta 100 m
- Altura aspiración manométrica hasta 8m



FIGURA 1.1.3 Bomba PKm 80

Curva característica:







| MODELO  |  | POTENCIA |      | Q        | m³/h<br>l/min |    |      |      |     |      |     |      |     |     |     |     |     |     |     |  |
|---|--|----------|------|----------|---------------|----|------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Monofásica  | Trifásica  | kW       | HP   |          |               | 0  | 0.3  | 0.6  | 0.9 | 1.2  | 1.5 | 1.8  | 2.1 | 2.4 | 3.0 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.4 |  |
|  PKm 60* |  PK 60* | 0.37     | 0.50 | H metros | 40            | 38 | 33.5 | 29   | 24  | 19.5 | 15  | 10   | 5   |     |     |     |     |     |     |  |
|  PKm 65  |  PK 65  | 0.50     | 0.70 |          | 55            | 50 | 45.5 | 40.5 | 36  | 31   | 27  | 22   | 17  | 8   |     |     |     |     |     |  |
| PKm 70  | PK 70  | 0.60     | 0.85 |          | 65            | 62 | 57   | 52   | 47  | 42   | 37  | 32   | 27  | 18  |     |     |     |     |     |  |
| PKm 80  | PK 80  | 0.75     | 1    |          | 70            | 66 | 61   | 56   | 51  | 46   | 41  | 36.5 | 31  | 22  |     |     |     |     |     |  |
| PKm 90  | PK 90  | 0.75     | 1    |          | 90            | 82 | 71   | 60   | 49  | 38   | 27  | 17   | 5   |     |     |     |     |     |     |  |
| PKm 100   | PK 100   | 1.1      | 1.5  |          | 85            | 80 | 75   | 70   | 65  | 60   | 55  | 50   | 45  | 35  | 25  | 15  |     |     |     |  |
| PKm 200   | PK 200   | 1.5      | 2    |          | 90            | 86 | 81   | 76   | 71  | 65.5 | 60  | 55   | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  |     |     |  |
| -   | PK 300   | 2.2      | 3    |          | 100           | 95 | 90   | 85   | 80  | 75   | 70  | 65   | 60  | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  |     |  |

FIGURA 1.1.4. Curva característica PKm 80

## 1.2) Comparación de bombas empleadas

### 1.2.1) Concordancias entre las bombas

- 1) Ambas son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicos no agresivos.
- 2) Son de uso doméstico.
- 3) Tienen un motor monofásico de 220V y 60hz.
- 4) Potencia del motor eléctrico de 1HP y 3450rpm.
- 5) Eje motor de acero inoxidable.
- 6) Condensador de 20 $\mu$ F 450VL.
- 7) Rodamientos 6203 ZZ/6203 ZZ.

### 1.2.2) Desigualdades

TABLA 1.2.1. Diferencias entre bombas

| Diferencias                    |          |         |
|--------------------------------|----------|---------|
| Nombre                         | JCRm10M  | PKm80   |
| Tipo de rodete                 | cerrado  | Abierto |
| caudal máximo(l/min)           | 80       | 50      |
| altura máxima(m)               | 46       | 70      |
| altura máxima aspiración(m)    | 9        | 8       |
| Consumo de amperios(para 220v) | 4,7      | 6,5     |
| rendimiento máximo             | 0,3      | 0,27    |
| peso(kg)                       | 9,4      | 10,1    |
| Precio(pesos mexicanos)        | 2337,545 | 1874,85 |

## 1.3) Cálculos

### 1.3.1) Recopilación de datos.

En primer lugar pasaremos los datos proporcionados en las curvas características de las bombas al programa EES para su mejor manejo y posterior realización de los cálculos necesarios.

-Para la bomba de un 1HP JCRm 10M:

**TABLA 1.3.1.1.** Datos obtenidos de curva característica bomba JCRm 10M.

| Q(l/min) | H(metros) |
|----------|-----------|
| 0        | 46        |
| 5        | 44        |
| 10       | 41        |
| 15       | 39        |
| 20       | 37        |
| 25       | 35        |
| 30       | 32        |
| 35       | 30        |
| 40       | 28        |
| 50       | 25        |
| 60       | 22        |
| 70       | 21        |
| 80       | 19        |



**FIGURA 1.3.1.1.** Bomba JCRm 10M

-Para la bomba de 1HP PKm 80:

**TABLA 1.3.1.2.**Datos obtenidos de curva característica bomba PKm 80

| Q(l/min) | H(m) |
|----------|------|
| 0        | 70   |
| 5        | 66   |
| 10       | 61   |
| 15       | 56   |
| 20       | 51   |
| 25       | 46   |
| 30       | 41   |
| 35       | 36,5 |
| 40       | 31   |
| 50       | 22   |



**FIGURA 1.3.1.2.** Bomba PKm 80

### 1.3.2) Cálculo curva eficiencia

Para el cálculo de la curva de eficiencia ( $\eta/Q$ ) se han utilizado las siguientes formulas.

Sabemos por teoría que:

$$\eta = Ph/P$$

Siendo:

Ph=Potencia hidráulica que se encuentra en las paletas de la bomba.

P=Potencia eléctrica suministrada por el motor a la bomba.

También sabemos que la potencia hidráulica se puede hallar con la siguiente formula:

$$Ph = \rho(\text{kg/m}^3) * Q(\text{m}^3/\text{s}) * g(\text{m/s}) * H(\text{m})$$

Siendo:

$\rho$ = Densidad del agua que son 1000 Kg/m<sup>3</sup>.

Q= Caudal medido en m<sup>3</sup>/s.

g= Fuerza de la gravedad que son 9,81 m/s.

H= Altura manométrica medida en metros.

Para la potencia eléctrica suministrada por el motor de un 1HP se va a utilizar una potencia de 0,75KW que es la potencia a la que trabajan las bombas. Estos son los resultados obtenidos.

1) Para la bomba JCRm 10M:

**TABLA 1.3.2.1.** Datos calculados para bomba JCRm 10M

| Q(m3/h) | Q(m3/s)    | Q(l/min) | H(m)   | Ph(kW)     | n(%)      |
|---------|------------|----------|--------|------------|-----------|
| 0       | 0          | 0        | 44,072 | 0          | 0         |
| 0,3     | 8,3333E-05 | 5        | 42,323 | 34,5990525 | 4,613207  |
| 0,6     | 0,00016667 | 10       | 40,574 | 66,33849   | 8,845132  |
| 0,9     | 0,00025    | 15       | 38,825 | 95,2183125 | 12,695775 |
| 1,2     | 0,00033333 | 20       | 37,076 | 121,23852  | 16,165136 |
| 1,5     | 0,00041667 | 25       | 35,327 | 144,399113 | 19,253215 |
| 1,8     | 0,0005     | 30       | 33,578 | 164,70009  | 21,960012 |
| 2,1     | 0,00058333 | 35       | 31,829 | 182,141453 | 24,285527 |
| 2,4     | 0,00066667 | 40       | 30,08  | 196,7232   | 26,22976  |
| 3       | 0,00083333 | 50       | 26,582 | 217,30785  | 28,97438  |
| 3,6     | 0,001      | 60       | 23,084 | 226,45404  | 30,193872 |
| 4,2     | 0,00116667 | 70       | 19,586 | 224,16177  | 29,888236 |
| 4,8     | 0,00133333 | 80       | 16,088 | 210,43104  | 28,057472 |

2) Para la bomba PK 80:

**TABLA 1.3.2.2.** Datos calculados para bomba PKm 80.

| Q(m3/h) | Q(m3/s)    | Q(l/min) | H(m)    | Ph kW)     | kW)        |
|---------|------------|----------|---------|------------|------------|
| 0       | 0          | 0        | 70,501  | 0          | 0          |
| 0,3     | 8,3333E-05 | 5        | 65,6165 | 53,5868083 | 0,07144908 |
| 0,6     | 0,00016667 | 10       | 60,733  | 99,1972333 | 0,13226298 |
| 0,9     | 0,00025    | 15       | 55,8505 | 136,833725 | 0,18244497 |
| 1,2     | 0,00033333 | 20       | 50,969  | 166,498733 | 0,22199831 |
| 1,5     | 0,00041667 | 25       | 46,0885 | 188,194708 | 0,25092628 |
| 1,8     | 0,0005     | 30       | 41,209  | 201,9241   | 0,26923213 |
| 2,1     | 0,00058333 | 35       | 36,3305 | 207,689358 | 0,27691914 |
| 2,4     | 0,00066667 | 40       | 31,453  | 205,492933 | 0,27399058 |
| 3       | 0,00083333 | 50       | 21,701  | 177,224833 | 0,23629978 |

Con los datos obtenidos en las tablas se ha utilizado el programa Table Curve 2D con el cual se puede representar de forma más las curvas de eficiencia correspondientes y obtener las ecuaciones de estas con menos, estas ecuaciones obtenidas luego serán usadas en el programa matemático EES para determinar las gráficas y puntos de corte. Las ecuaciones de la curva de eficiencia obtenidas con dicho programa son las siguientes:

### 1.3.2.1) Ecuaciones y gráficas eficiencia

-Ecuación de eficiencia para la bomba JCRm 10M:

$$y=a+(b*x)+(c*x^2)+(d*x^3)+(e*x^4)+(f*x^5)+(g*x^6)+(h*x^7)+(i*x^8)+(j*x^9)+(k*x^{10})$$

Siendo:

$$a=3,55756e-09$$

$$b=0,009607919$$

$$c=-7,6364e-05$$

$d=1,70339e-08$   
 $e=-1,3177e-09$   
 $f=5,70504e-11$   
 $g=-1,4685e-12$   
 $h=2,28118e-14$   
 $i=-2,0769e-16$   
 $j=1,00462e-18$   
 $k=-1,9417e-21$

-Ecuación eficiencia para la bomba PKm 80

$$y^2=(a+(c*x^2)+(e*x^4)+(g*x^6)+(i*x^8)+(k*x^{10}))/((1+(b*x^2)+(d*x^4)+(f*x^6)+(h*x^8)+(j*x^{10})))$$

Siendo:

$a=3,40337e-34$   
 $b=0,003764116$   
 $c=0,000219667$   
 $d=-6,5252e-06$   
 $e=2,0022e-07$   
 $f=4,45488e-09$   
 $g=-7,4639e-10$   
 $h=-3,6498e-12$   
 $i=4,15294e-13$   
 $j=2,01617e-15$   
 $k=-1,0156e-17$

Estas ecuaciones han sido introducidas en el programa matemático EES para representar las gráficas de eficiencia correspondientes a las bombas obteniendo las siguientes curvas:

-Para la bomba JCRm 10M

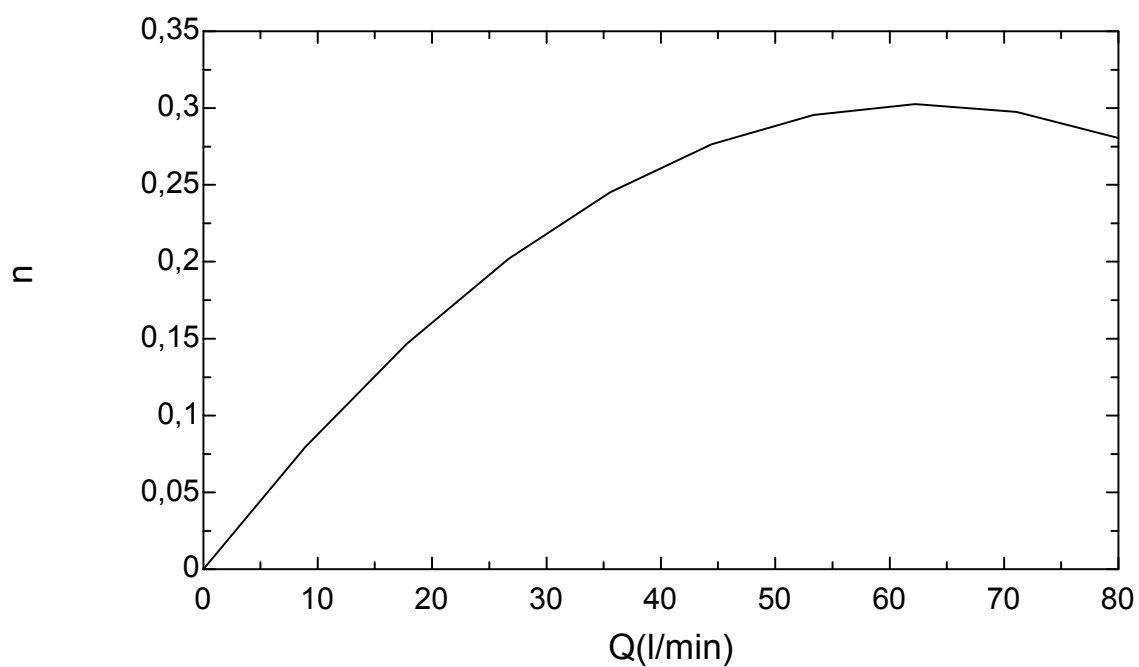


FIGURA 1.3.2.1.1. Grafica bomba JCRm 10M rendimiento

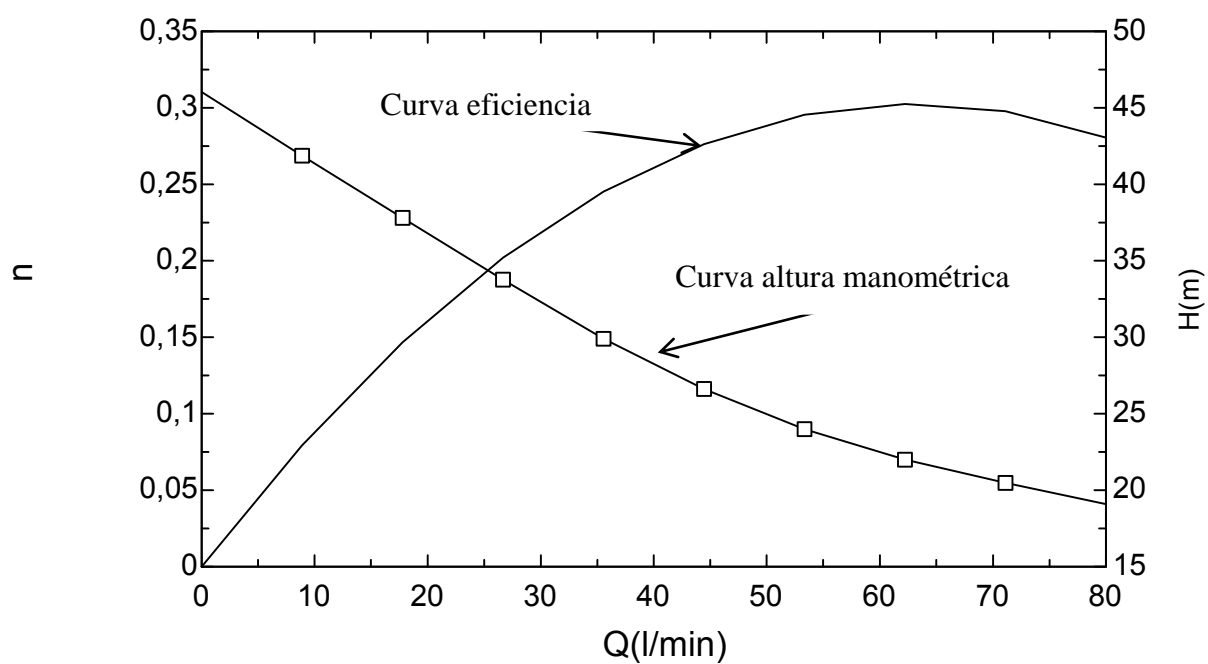


FIGURA 1.3.2.1.2. Grafica bomba JCRm 10M rendimiento y a altura manométrica H



-Para la bomba PKm 80

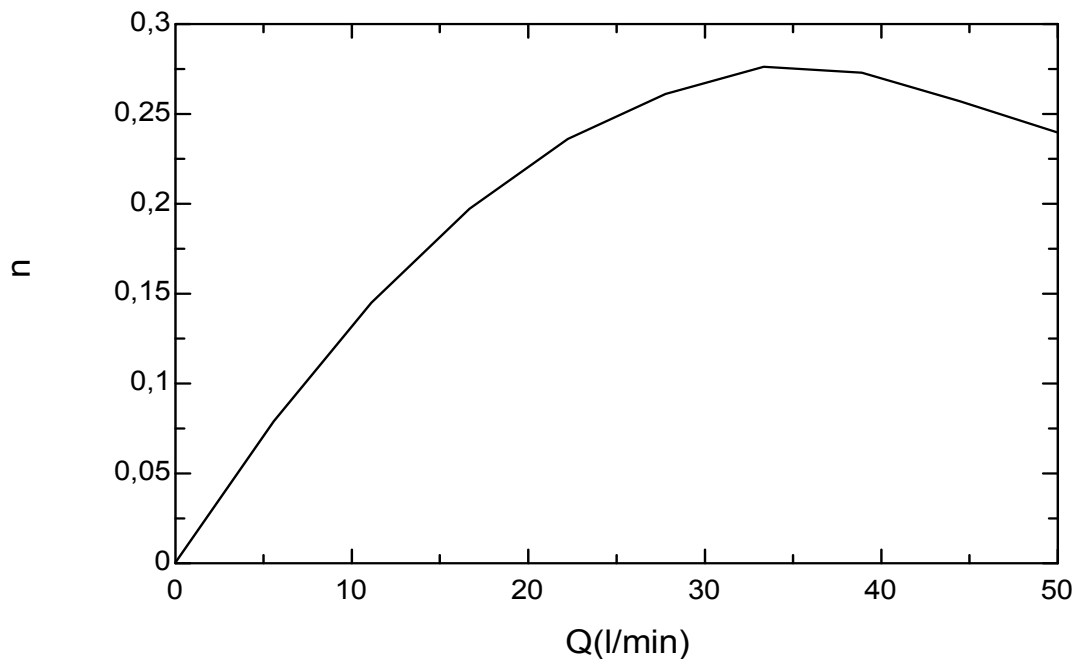


FIGURA 1.3.2.1.3. Grafica bomba PKm 80 rendimiento

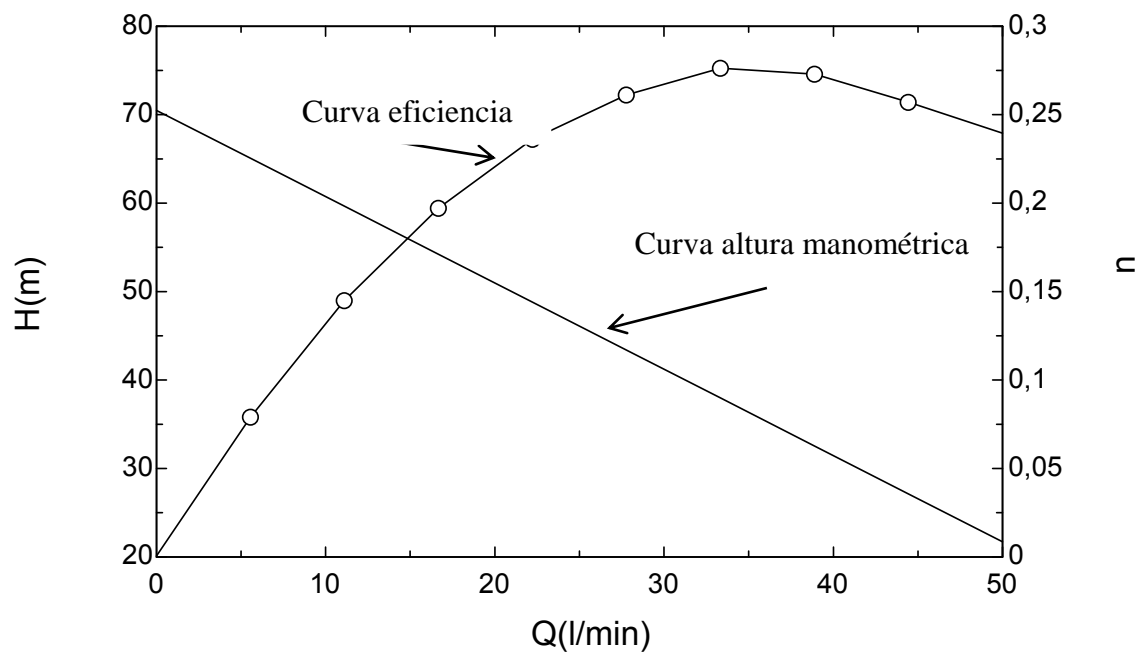


FIGURA 1.3.2.1.4. Grafica bomba PKm 80 rendimiento y a altura manométrica H.

El punto de corte de ambas curvas de eficiencia se ha hallado tal y como se ha comentado antes con el programa EES y es el  $Q=41,26$  l/min  $\eta=0,2666$ . En la siguiente grafica se muestran ambas curvas de rendimiento y el punto de corte. Se puede observar que ambas bombas tienen un rendimiento máximo próximo

al 30%, que para caudales hasta antes del punto de corte es más eficiente la bomba PKm 80 y después del punto de corte resulta más eficiente la JCRm 10M.

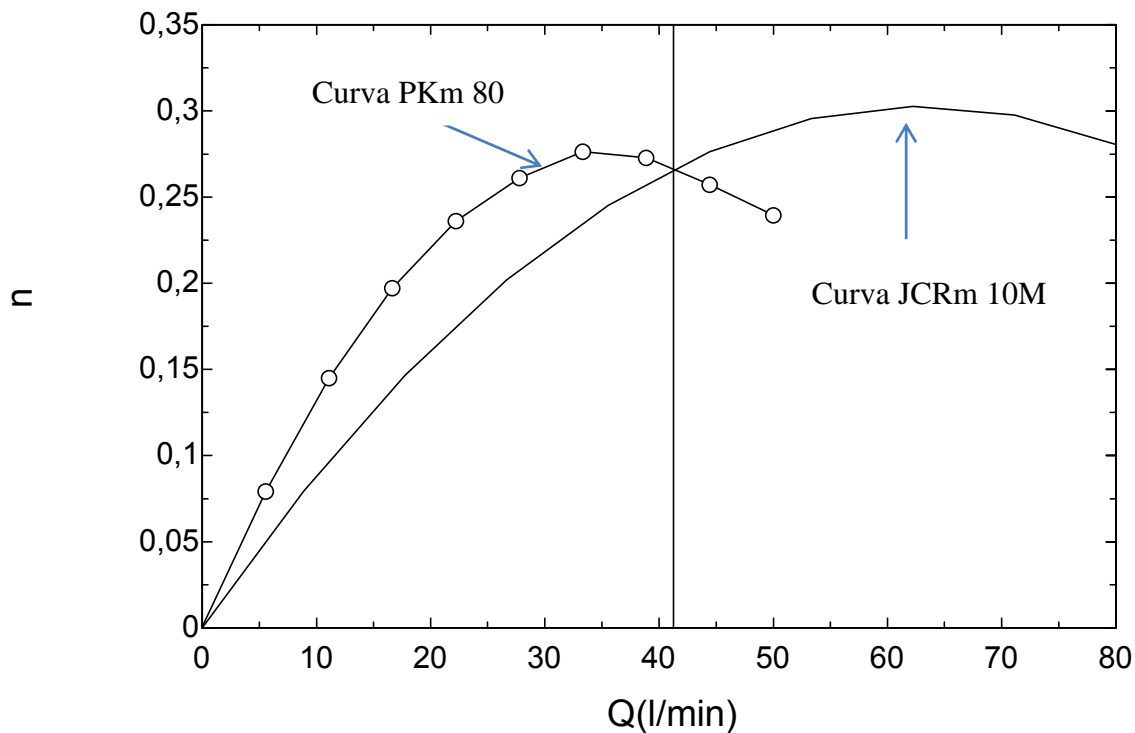


FIGURA 1.3.2.1.5. Grafica eficiencias bombas y punto de corte  $Q=41,26$  l/min

### 1.3.3) Estudio económico

Una vez obtenidos todos los datos de las bombas se procede al estudio económico para el cual hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Los rangos de estudio debido a que las bombas alcanzan diferentes caudales serán:
  - Para las bombas de 1HP de 0 a 50 l/min.
- 2) Para el estudio económico se emplearán diferentes tipos de tarifa y horarios dependiendo el empleo de la bomba siendo:
  - 1h que equivale al uso de una bomba en una casa.

- 8h que es el tiempo de trabajo de una bomba en una fábrica donde trabaja durante un turno.
- 16h equivale al tiempo que trabaja una bomba en una fábrica durante dos turnos.
- 24h equivale para las fábricas donde la bomba trabaja todo el día sin descanso.
- Las tarifas para el estudio son: 0,765, 1, 1,5 y 2 pesos por kW.

3) El precio de las bombas:

-JCRm 10M=2337,545 pesos.

-PKm 80=1874,85 pesos.

4) Tiempo de vida de las bombas siguiendo la tabla de abajo:

-Para el caso de las bombas de 1HP es de 13 años.

| Rango en Hp                                   | Vida Promedio<br>Yr | Rango de Vida<br>Yr |
|---|---------------------|---------------------|
| Menos de 1                                    | 12.9                | 10 - 15             |
| 1 - 5   | 17.1                | 13 - 19             |
| 5.1 - 20                                      | 19.4                | 16 - 20             |
| 21 - 50                                       | 21.8                | 18 - 26             |
| 51 - 125                                      | 28.5                | 24 - 33             |
| Arriba de 125                                 | 29.3                | 25 - 38             |
| Vida promedio de todas la unidades = 13.27 yr |                     |                     |

**FIGURA 1.3.3.1.** Vida promedio del motor eléctrico de bombas

Tabla tomada de:

“Efficient Electric Motor” Selección and Application

Jonh C. Andreas Edit. Decker, 2da Ed. 1992

ISBN-0-8247-8596-7 pag. 245

Teniendo en cuenta todos estos puntos podemos proceder a calcular la factura de las bombas a lo largo de su vida siendo dicha fórmula:

$$\text{Factura} = \text{Potencia bomba (Ph)} * \text{tarifa factura} * \text{horas de trabajo al día} * 30 \text{ días/mes} * 12 \text{ meses/año} * \text{tiempo de vida de la bomba}$$

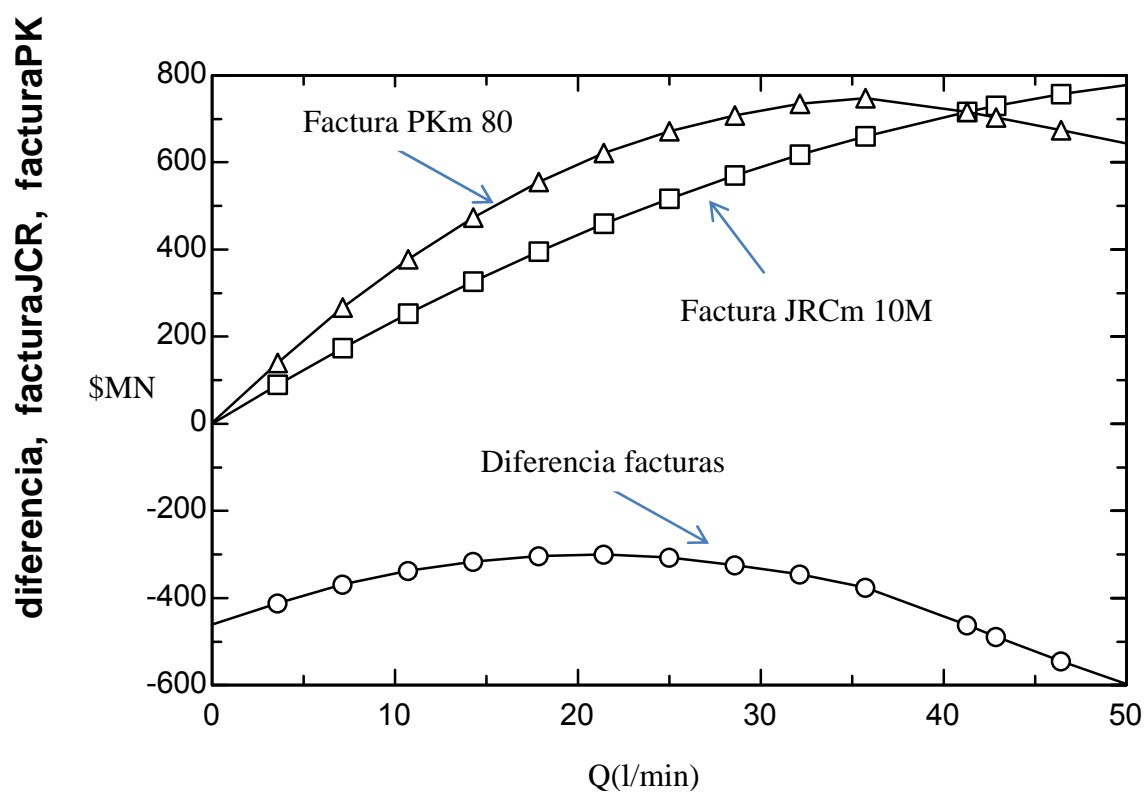
#### **1.3.4) Resultados económicos para las bombas de 1HP:**

A continuación se muestran las tablas y graficas con los resultados obtenidos.

-Para 1 hora y 0,765\$/KW:

**TABLA 1.3.4.1.** Resultados económicos para 1h y 0,765\$/KW

| Diferencia(\$M<br>N) | Factura<br>JCRm (\$MN) | Factura Pkm<br>(\$MN) | Potencia JCRm<br>(kW) | Potencia PKm<br>(kW) | Q(l/<br>min) | Q(l/<br>min) |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------|
| - 461,00             | 0,00                   | 1,68                  | 2,67E-09              | 0,0004699            | 0            | 0            |
| - 369,40             | 173,80                 | 267,10                | 0,04855               | 0,0746               | 7,143        | 7,143        |
| - 315,90             | 326,80                 | 473,50                | 0,09127               | 0,1323               | 14,29        | 14,29        |
| - 300,00             | 458,80                 | 621,50                | 0,1281                | 0,1736               | 21,43        | 21,43        |
| - 307,50             | 517,00                 | 672,20                | 0,1444                | 0,1878               | 25           | 25           |
| - 345,50             | 617,70                 | 734,90                | 0,1725                | 0,2053               | 32,14        | 32,14        |
| - 430,10             | 697,50                 | 730,10                | 0,1948                | 0,2039               | 39,29        | 39,29        |
| - 488,90             | 729,50                 | 703,30                | 0,2038                | 0,1965               | 42,86        | 42,86        |
| - 545,20             | 756,40                 | 673,90                | 0,2113                | 0,1882               | 46,43        | 46,43        |
| - 597,50             | 778,00                 | 643,20                | 0,2173                | 0,1797               | 50           | 50           |



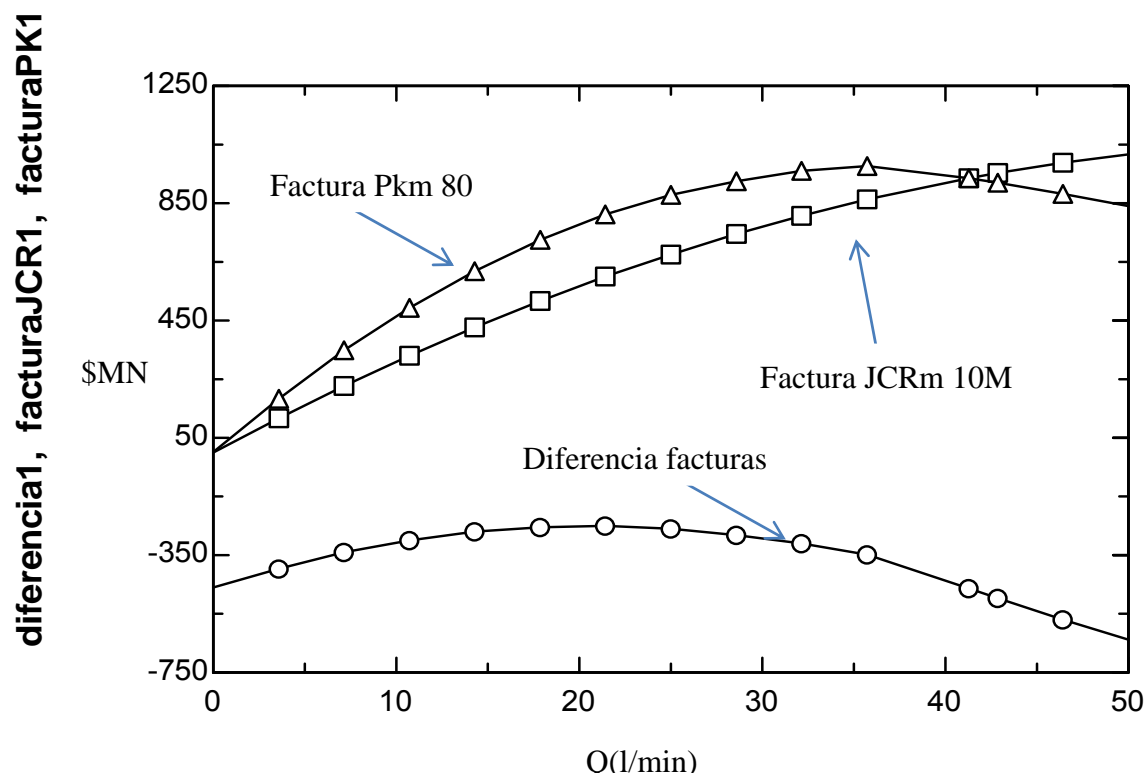
**FIGURA 1.3.4.1.** Grafica resultados económicos 1h y 0.765 \$/kW

En este caso no existen apenas diferencias destacables de precio pero resulta más económico trabajar con la bomba PKm 80.

-Para 1hora y 1\$/KW:

**TABLA 1.3.4.2.** Resultados económicos para 1h y 1\$/KW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 460,50          | 0,00                | 2,20               | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| - 340,80          | 227,20              | 349,10             | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| - 270,80          | 427,10              | 619,00             | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| - 250,00          | 599,70              | 812,40             | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| - 259,80          | 675,80              | 878,70             | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| - 309,50          | 807,40              | 960,60             | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| - 462,90          | 935,80              | 935,60             | 0,2                | 0,1999            | 41,27     | 41,27     |
| - 497,00          | 953,70              | 919,40             | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 570,50          | 988,70              | 880,90             | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 638,90          | 1.017,00            | 840,80             | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



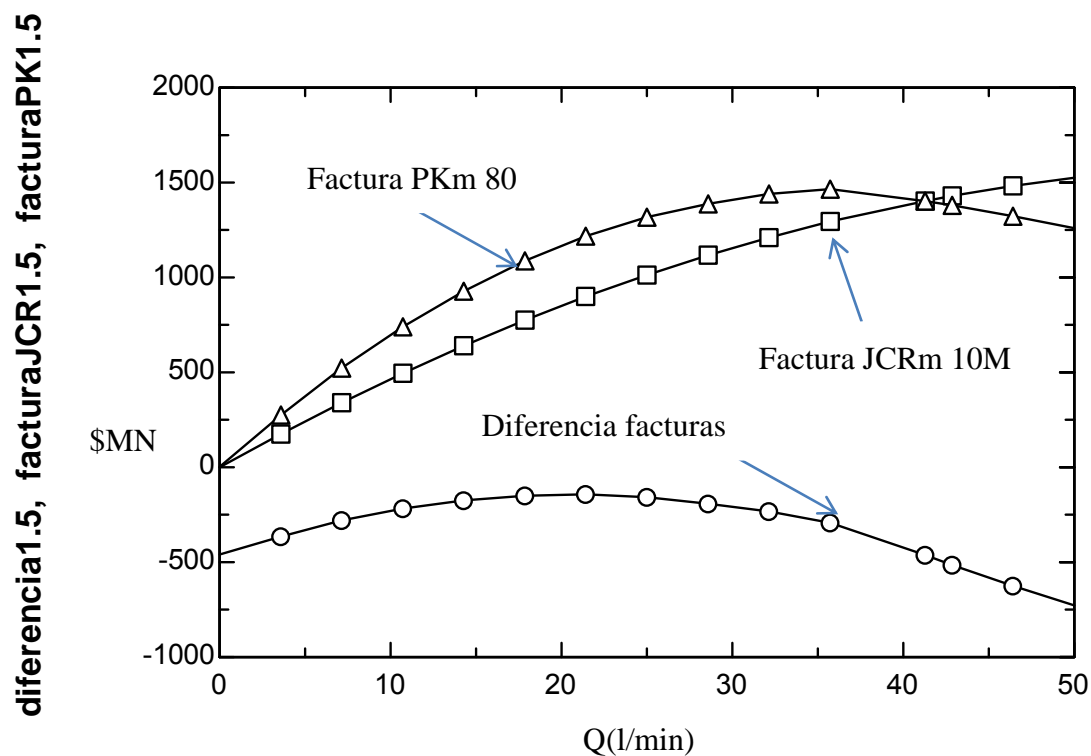
**FIGURA 1.3.4.2.** Gráfica resultados económicos 1h y 1\$/kW

Todavía no se aprecian grandes diferencias de precio ni de rendimiento pero resulta algo más barato utilizar la bomba PKm 80.

-Para 1hora y 1,5\$/kW:

**TABLA 1.3.4.3.** Resultados económicos para 1h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 459,40          | 0,00                | 3,30               | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| - 279,80          | 340,80              | 523,70             | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| - 174,90          | 640,70              | 928,50             | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| - 143,70          | 899,60              | 1.219,00           | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| - 158,30          | 1.014,00            | 1.318,00           | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| - 232,90          | 1.211,00            | 1.441,00           | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| - 463,00          | 1.404,00            | 1.403,00           | 0,2                | 0,1999            | 41,27     | 41,27     |
| - 514,10          | 1.430,00            | 1.379,00           | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 624,40          | 1.483,00            | 1.321,00           | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 726,90          | 1.526,00            | 1.261,00           | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



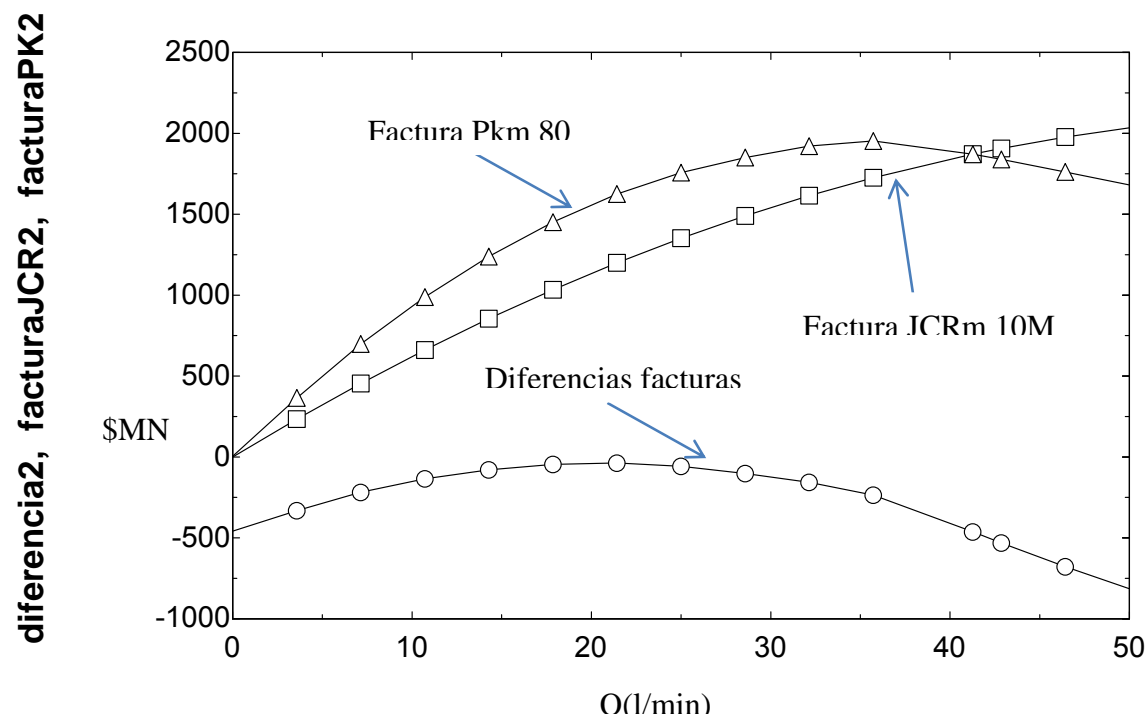
**FIGURA 1.3.4.3.** Gráfica resultados económicos 1h y 1,5\$/kW

La diferencia sigue sin ser muy grande entre las bombas por lo que continuamos eligiendo la bomba PKm 80.

-Para 1 hora y 2\$/kW:

**TABLA 1.3.4.4.** Resultados económicos para 1h y 2\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 458,30          | 0,00                | 4,40               | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| - 218,80          | 454,40              | 698,30             | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| - 78,97           | 854,30              | 1.238,00           | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| - 37,37           | 1.199,00            | 1.625,00           | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| - 56,84           | 1.352,00            | 1.757,00           | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| - 156,30          | 1.615,00            | 1.921,00           | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| - 463,10          | 1.872,00            | 1.871,00           | 0,2                | 0,1999            | 41,27     | 41,27     |
| - 531,20          | 1.907,00            | 1.839,00           | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 678,30          | 1.977,00            | 1.762,00           | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 815,00          | 2.034,00            | 1.682,00           | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



**FIGURA 1.3.4.4.** Gráfica resultados económicos 1h y 2\$/kW

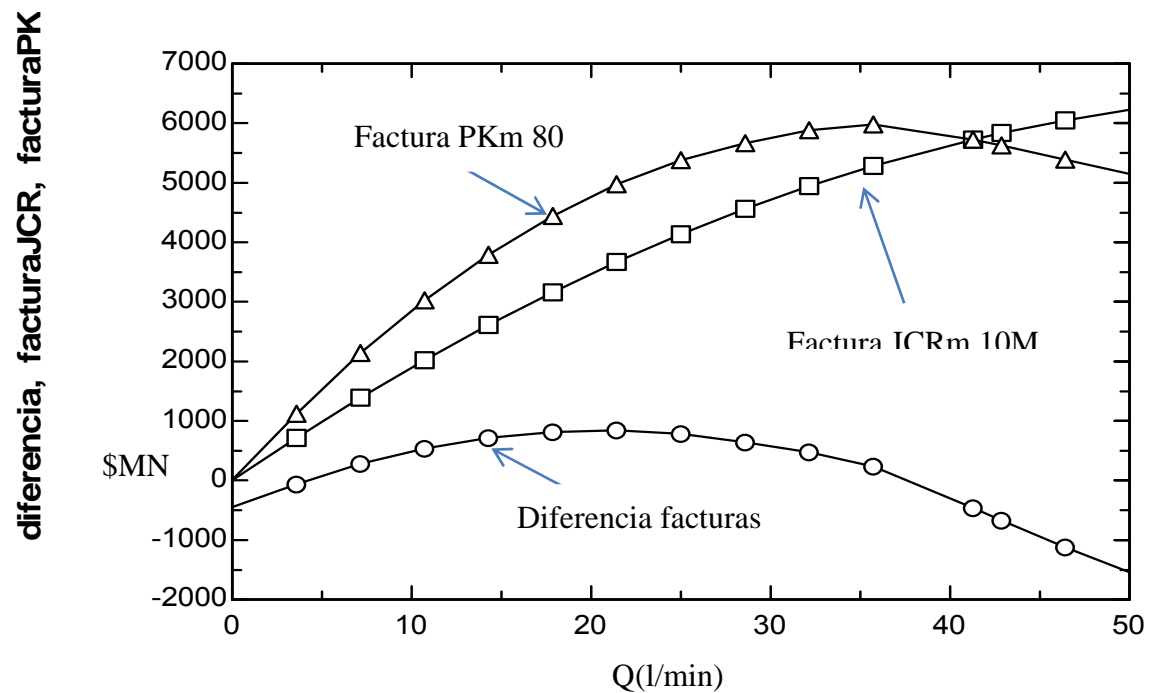


Las diferencias son algo más grandes debido al precio del kW/h pero no son muy grandes.

-Para 8 horas y 0,765\$/kW:

**TABLA 1.3.4.5.** Resultados económicos para 8h y 0,765\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 449,20          | 0,00                | 13,46              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 283,50            | 1.391,00            | 2.137,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 711,50            | 2.614,00            | 3.788,00           | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 838,80            | 3.670,00            | 4.972,00           | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 779,20            | 4.136,00            | 5.378,00           | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 474,90            | 4.941,00            | 5.879,00           | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| - 201,80          | 5.580,00            | 5.841,00           | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 672,40          | 5.836,00            | 5.627,00           | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 1.123,00        | 6.051,00            | 5.391,00           | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 1.541,00        | 6.224,00            | 5.146,00           | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



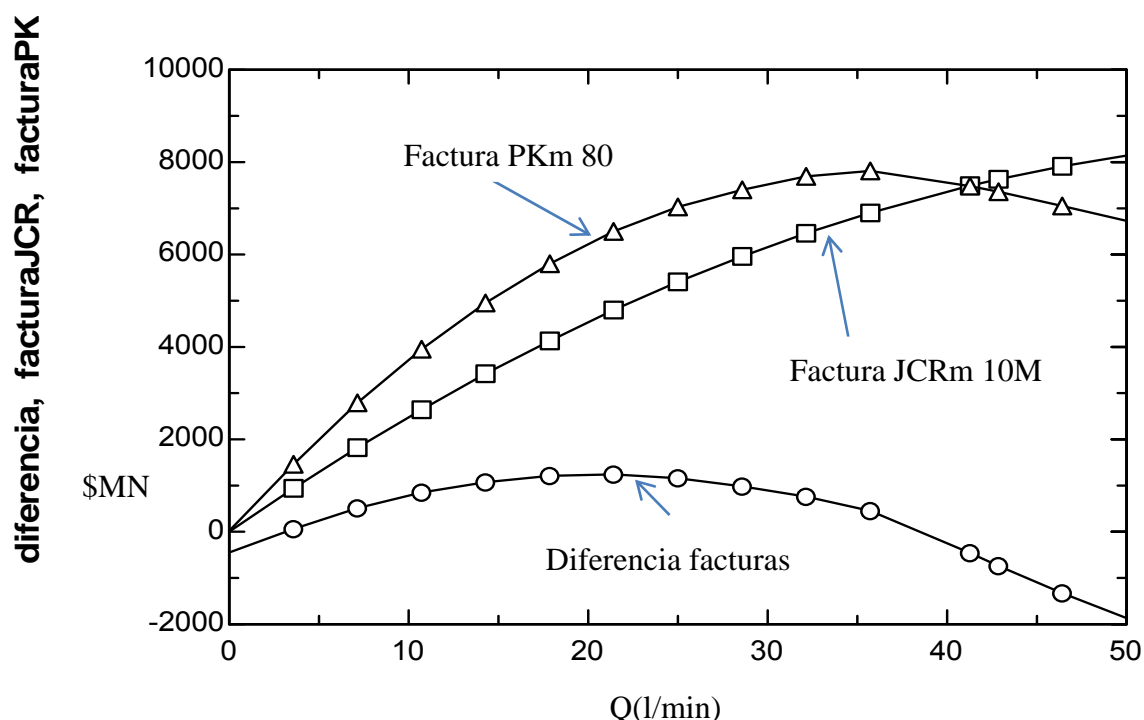
**FIGURA 1.3.4.5.** Gráfica resultados económicos 8h y 0,765\$/kW

Se observa que el punto donde la diferencia es 0, por lo que nos daría igual que bomba usar es en  $x_2=Q=37,322$ . La mayor diferencia a favor de PK es en  $Q=20,85$  y es de 840 pesos y a favor de la bomba JCRm 10M se da para  $Q=50$  y es de 1.541,00.

-Para 8 horas y 1\$/kW:

**TABLA 1.3.4.6.** Resultados económicos para 8h y 1\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 445,10          | 0,00                | 17,59              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 512,70            | 1.818,00            | 2.793,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 1.072,00          | 3.417,00            | 4.952,00           | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 1.239,00          | 4.798,00            | 6.499,00           | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 1.161,00          | 5.406,00            | 7.030,00           | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 763,00            | 6.459,00            | 7.685,00           | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| - 121,60          | 7.294,00            | 7.635,00           | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 736,80          | 7.629,00            | 7.355,00           | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 1.325,00        | 7.910,00            | 7.047,00           | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 1.872,00        | 8.136,00            | 6.727,00           | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



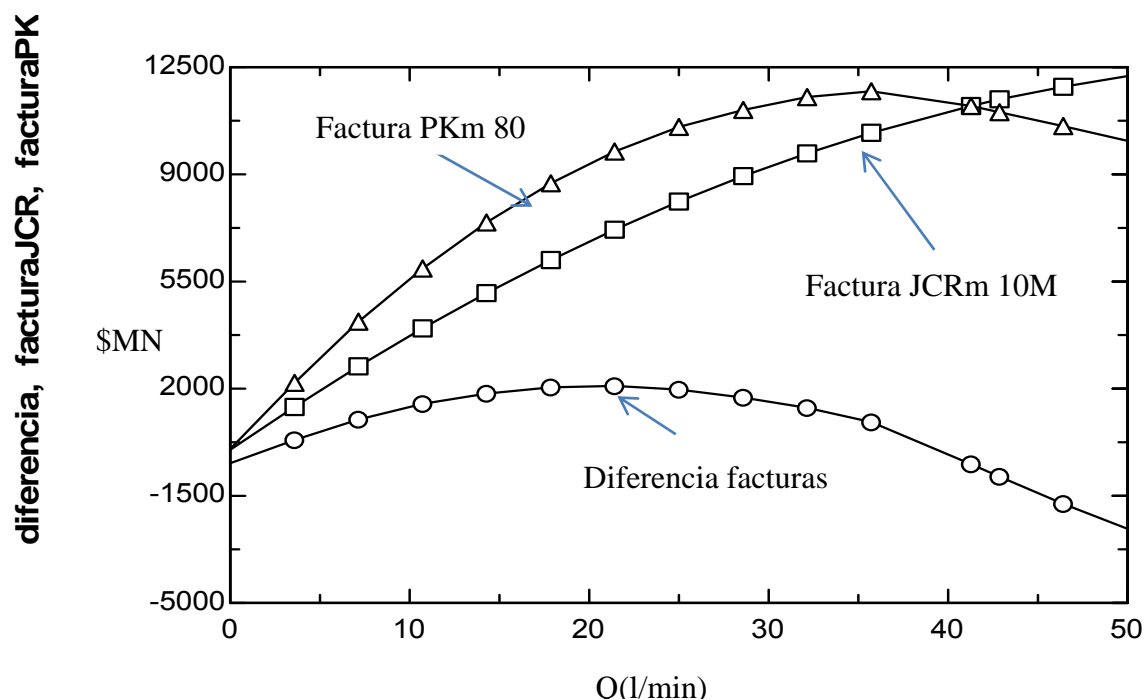
**FIGURA 1.3.4.6.** Gráfica resultados económicos 8h y 1\$/kW

El momento donde la diferencia de facturas es 0 corresponde a  $x_2=Q=38,55$ . La mayor diferencia a favor de PKm 80 es en  $Q=20,85$  y es de 1241 pesos y por parte de la JCRm 10M es en  $Q=50$  y es de 1872 pesos.

-Para 8 horas y 1,5\$/kW:

**TABLA 1.3.4.7.** Resultados económicos para 8h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 436,30          | 0,00                | 26,39              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 1.000,00          | 2.727,00            | 4.190,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 1.840,00          | 5.126,00            | 7.428,00           | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 2.089,00          | 7.197,00            | 9.749,00           | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 1.972,00          | 8.109,00            | 10.545,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 1.376,00          | 9.689,00            | 11.528,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 48,94             | 10.941,00           | 11.452,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 873,80          | 11.444,00           | 11.033,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 1.757,00        | 11.865,00           | 10.571,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 2.577,00        | 12.204,00           | 10.090,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



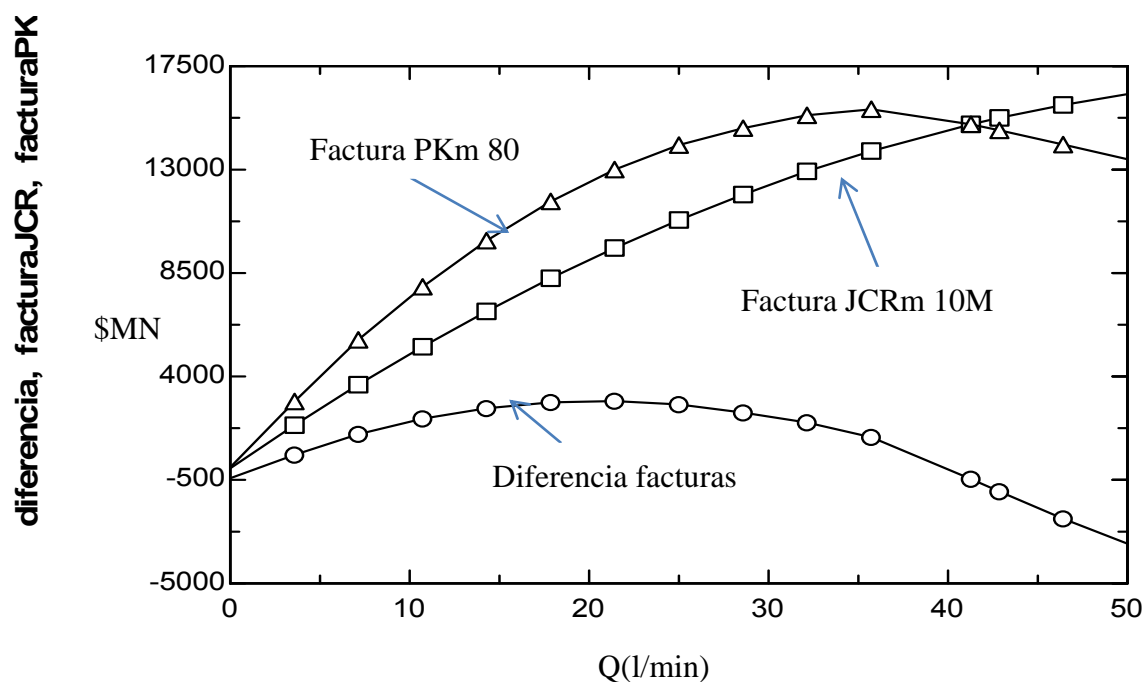
**FIGURA 1.3.4.7.** Gráfica resultados económicos 8h y 1,5\$/kW

El punto donde la diferencia se hace 0 es  $x_2=Q=39,47$ . El punto donde resulta más rentable comprar la bomba PKm 80 es en  $Q=20,06$  con una diferencia respecto de la JCRm 10M de 2092 pesos. Por el contrario cuando resulta más rentable la JCRm 10M es en  $Q=50$  ahorrándonos 2577 pesos.

-Para 8 horas y 2\$/kW:

**TABLA 1.3.4.8.** Resultados económicos para 8h y 2\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 427,50          | 0,00                | 35,19              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 1.488,00          | 3.636,00            | 5.586,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 2.607,00          | 6.834,00            | 9.904,00           | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 2.940,00          | 9.596,00            | 12.998,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 2.784,00          | 10.813,00           | 14.059,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 1.989,00          | 12.919,00           | 15.370,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 219,50            | 14.588,00           | 15.270,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.011,00        | 15.258,00           | 14.710,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 2.188,00        | 15.820,00           | 14.095,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 3.281,00        | 16.272,00           | 13.453,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



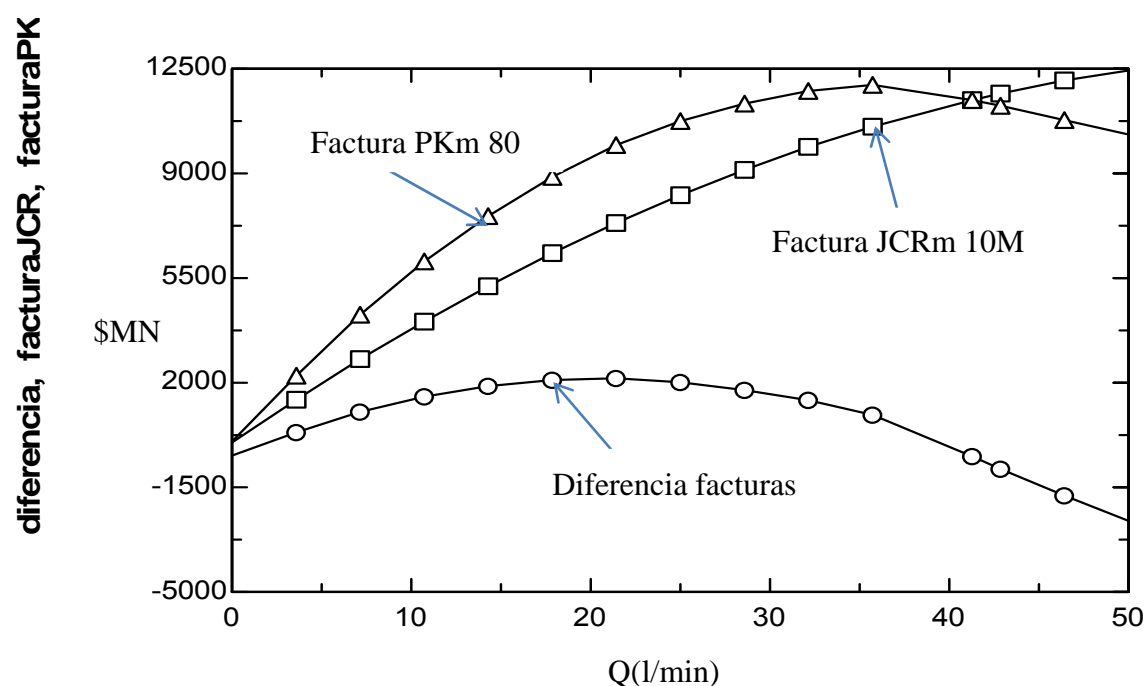
**FIGURA 1.3.4.8.** Gráfica resultados económicos 8h y 2\$/kW

La diferencia entre las facturas se hace 0 en  $x_2=Q=39,92$ . El punto donde es más económico usar la PKm 80 es en  $Q=20,94$  su diferencia respecto la JCRm 10M es de 2944 pesos. El punto opuesto se da en  $Q=50$  con una diferencia de 3281.

-Para 16 horas y 0,765\$/kW:

**TABLA 1.3.4.9.** Resultados económicos para 16h y 0,765\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 461,00          | 0,00                | 1,68               | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| - 369,40          | 173,80              | 267,10             | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| - 315,90          | 326,80              | 473,50             | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| - 300,00          | 458,80              | 621,50             | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| - 307,50          | 517,00              | 672,20             | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| - 345,50          | 617,70              | 734,90             | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| - 430,10          | 697,50              | 730,10             | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 488,90          | 729,50              | 703,30             | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 545,20          | 756,40              | 673,90             | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 597,50          | 778,00              | 643,20             | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



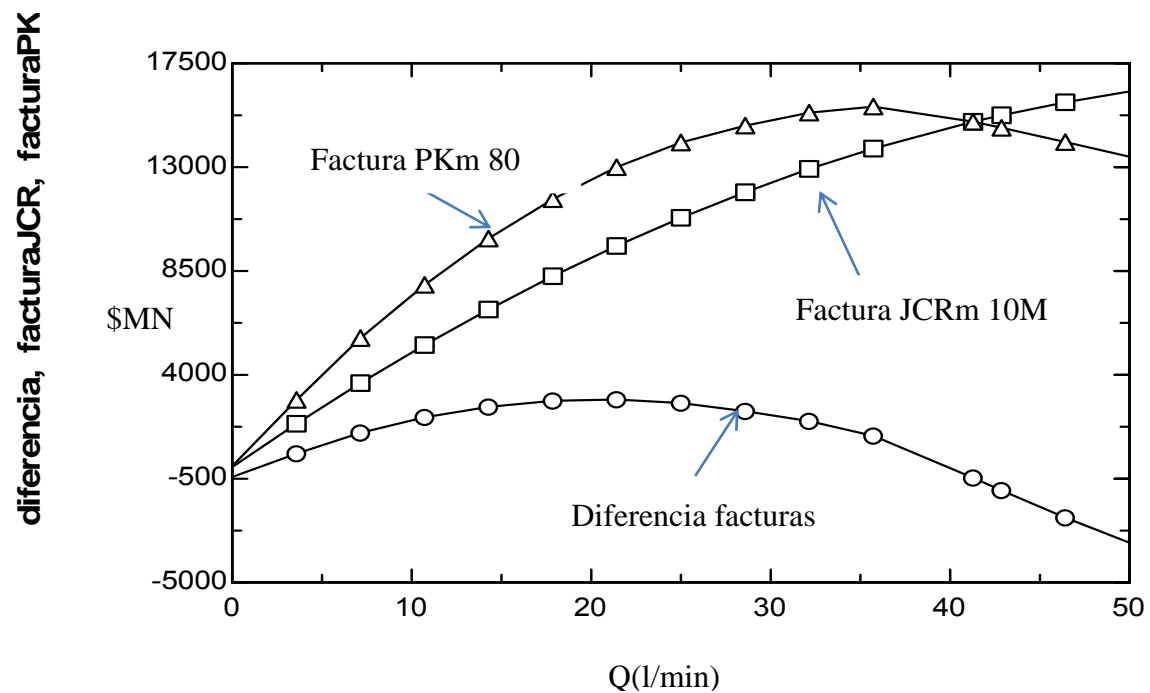
**FIGURA 1.3.4.9.** Gráfica resultados económicos 16h y 0,765\$/kW

El punto donde la diferencia entre bombas es 0 es en  $x_2=Q=39,52$ . El momento en el que nos ahorramos más con la bomba PKm 80 es en  $Q=20,06$  y es de 2143 pesos. La bomba JCRm 10M resulta la mejor opción para  $Q=50$  ahorrando 597 pesos.

-Para 16 horas y 1\$/kW:

**TABLA 1.3.4.10.** Resultados económicos para 16h y 1\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 427,50          | 0,00                | 35,19              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 1.488,00          | 3.636,00            | 5.586,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 2.607,00          | 6.834,00            | 9.904,00           | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 2.940,00          | 9.596,00            | 12.998,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 2.784,00          | 10.813,00           | 14.059,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 1.989,00          | 12.919,00           | 15.370,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 219,50            | 14.588,00           | 15.270,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.011,00        | 15.258,00           | 14.710,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 2.188,00        | 15.820,00           | 14.095,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 3.281,00        | 16.272,00           | 13.453,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



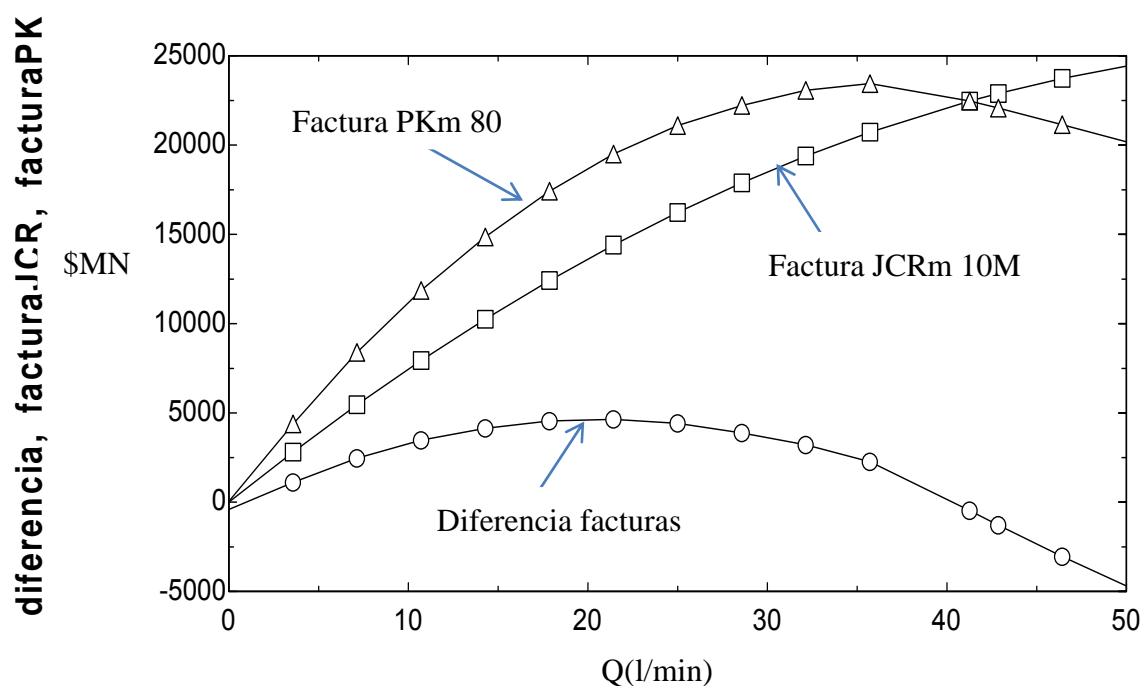
**FIGURA 1.3.4.10.** Gráfica resultados económicos 16h y 1\$/kW

La diferencia es 0 siendo igual que bomba elegir para  $x_2=Q=39,92$  l/min. La bomba PKm 80 es más rentable para  $Q=20,94$  l/min con una diferencia de factura de 2944 pesos y la bomba JCRm 10M es la mejor opción para 50 l/min ahorrando 3281 pesos.

-Para 16 horas y 1,5\$/kW:

**TABLA 1.3.4.11.** Resultados económicos para 16h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 409,90          | 0,00                | 52,78              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 2.463,00          | 5.453,00            | 8.379,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 4.142,00          | 10.251,00           | 14.856,00          | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 4.641,00          | 14.394,00           | 19.497,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 4.408,00          | 16.219,00           | 21.089,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 3.214,00          | 19.378,00           | 23.055,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 560,60            | 21.882,00           | 22.905,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.285,00        | 22.888,00           | 22.065,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 3.050,00        | 23.730,00           | 21.142,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 4.691,00        | 24.408,00           | 20.180,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



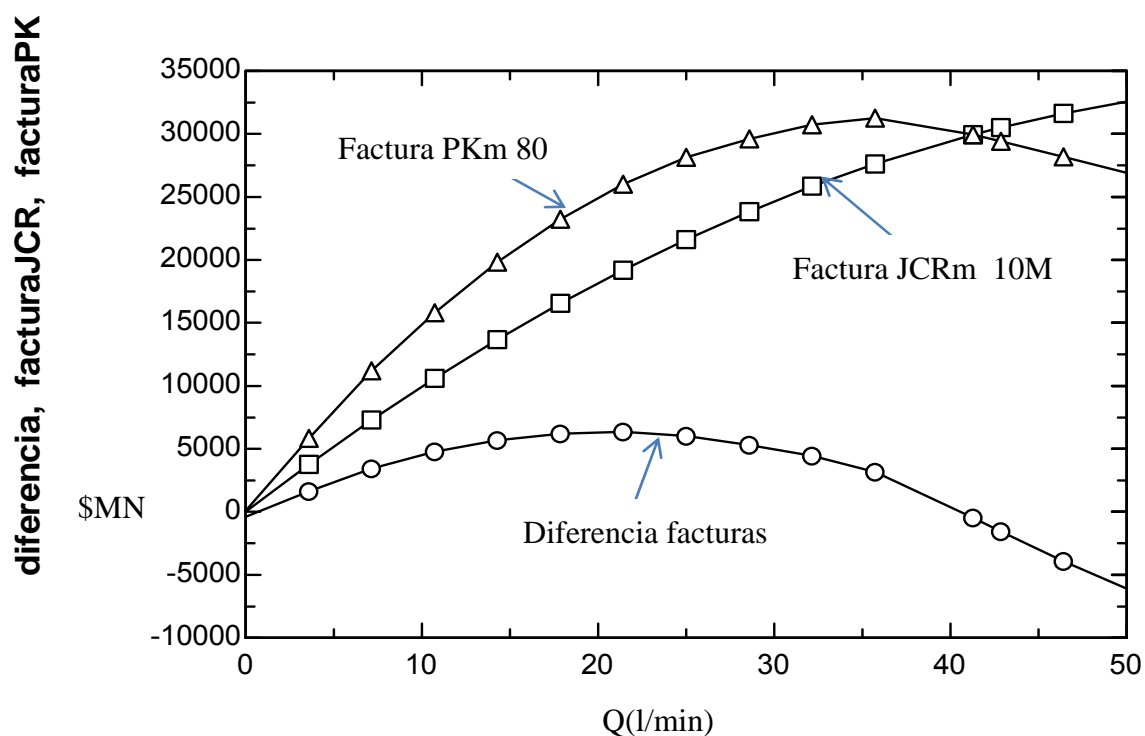
**FIGURA 1.3.4.11.** Gráfica resultados económicos 16h y 1,5\$/kW

El punto donde la diferencia es 0 es  $x_2=Q=40,36$ . La mayor diferencia a favor de PKm 80 es en  $Q=20,93$  y es de 4647 pesos a su favor y el punto opuesto es  $Q=50$  con un ahorro de 4691 pesos.

-Para 16 horas y 2\$/kW:

**TABLA 1.3.4.12.** Resultados económicos para 16h y 2\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 392,30          | 0,00                | 70,38              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 3.439,00          | 7.271,00            | 11.173,00          | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 5.677,00          | 13.668,00           | 19.808,00          | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 6.342,00          | 19.191,00           | 25.997,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 6.031,00          | 21.625,00           | 28.119,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 4.440,00          | 25.837,00           | 30.740,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 901,70            | 29.176,00           | 30.540,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.559,00        | 30.517,00           | 29.421,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 3.913,00        | 31.640,00           | 28.189,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 6.100,00        | 32.544,00           | 26.907,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



**FIGURA 1.3.4.12.** Gráfica resultados económicos 16h y 2\$/kW

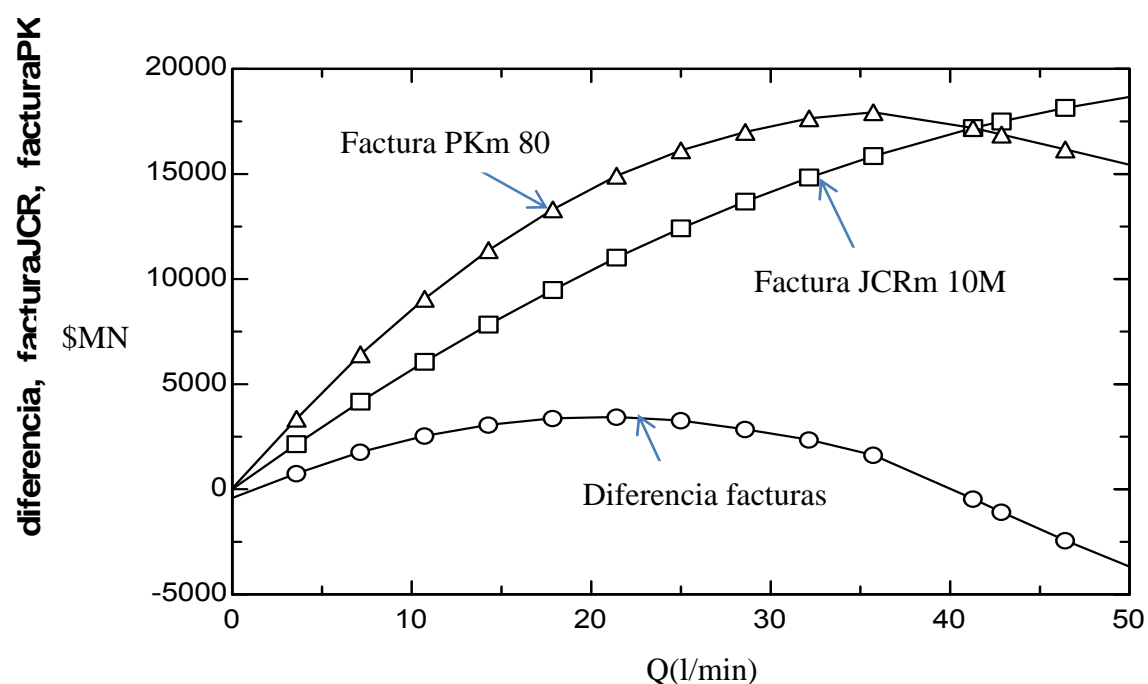


Para  $x_2=Q=40,59$  l/min la diferencia de facturas se hace 0. Para  $Q=20,93$  el ahorro que tenemos al comprar la bomba PKm 80 es 6350 pesos. Para  $Q=50$  l/min se da el punto opuesto con 6100 pesos a favor de la JCRm 10M.

-Para 24 horas y 0,765\$/kW:

**TABLA 1.3.4.13.** Resultados económicos para 24h y 0,765\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 422,30          | 0,00                | 40,38              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 1.776,00          | 4.172,00            | 6.410,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 3.060,00          | 7.842,00            | 11.365,00          | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 3.442,00          | 11.011,00           | 14.916,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 3.263,00          | 12.407,00           | 16.133,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 2.350,00          | 14.824,00           | 17.637,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 320,10            | 16.739,00           | 17.522,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.092,00        | 17.509,00           | 16.880,00          | 0,20               | 0,20              | 42,86     | 42,86     |
| - 2.442,00        | 18.153,00           | 16.174,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 3.697,00        | 18.672,00           | 15.438,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



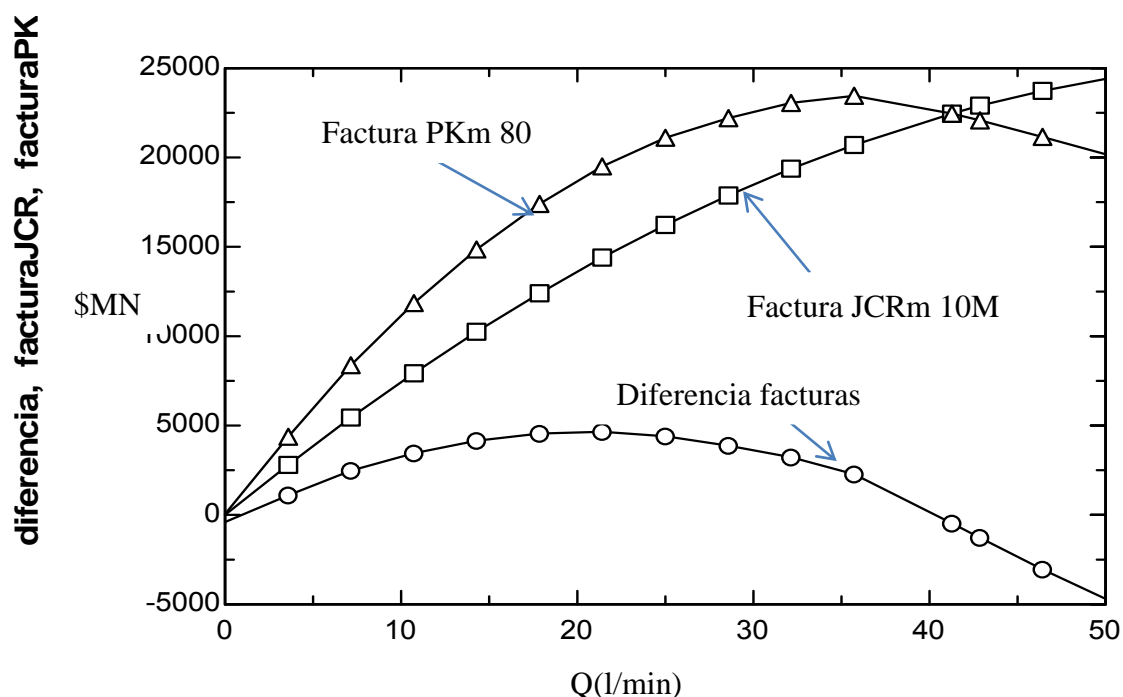
**FIGURA 1.3.4.13.** Gráfica resultados económicos 24h y 0,765\$/kW

La diferencia es 0, por lo que da igual que bomba usar, en el punto  $x_2=Q=40,09$ . Comprando la bomba PKm 80 para un caudal de 21 l/min nos ahorramos 3446 pesos. Por el contrario si se escoges la JCRm 10M para un caudal de 50 l/min ahorramos 3697 pesos.

-Para 24 horas y 1\$/kW:

**TABLA 1.3.4.14.** Resultados económicos para 24h y 1\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 409,90          | 0,00                | 52,78              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 2.463,00          | 5.453,00            | 8.379,00           | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 4.142,00          | 10.251,00           | 14.856,00          | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 4.641,00          | 14.394,00           | 19.497,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 4.408,00          | 16.219,00           | 21.089,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 3.214,00          | 19.378,00           | 23.055,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 560,60            | 21.882,00           | 22.905,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.285,00        | 22.888,00           | 22.065,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 3.050,00        | 23.730,00           | 21.142,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 4.691,00        | 24.408,00           | 20.180,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



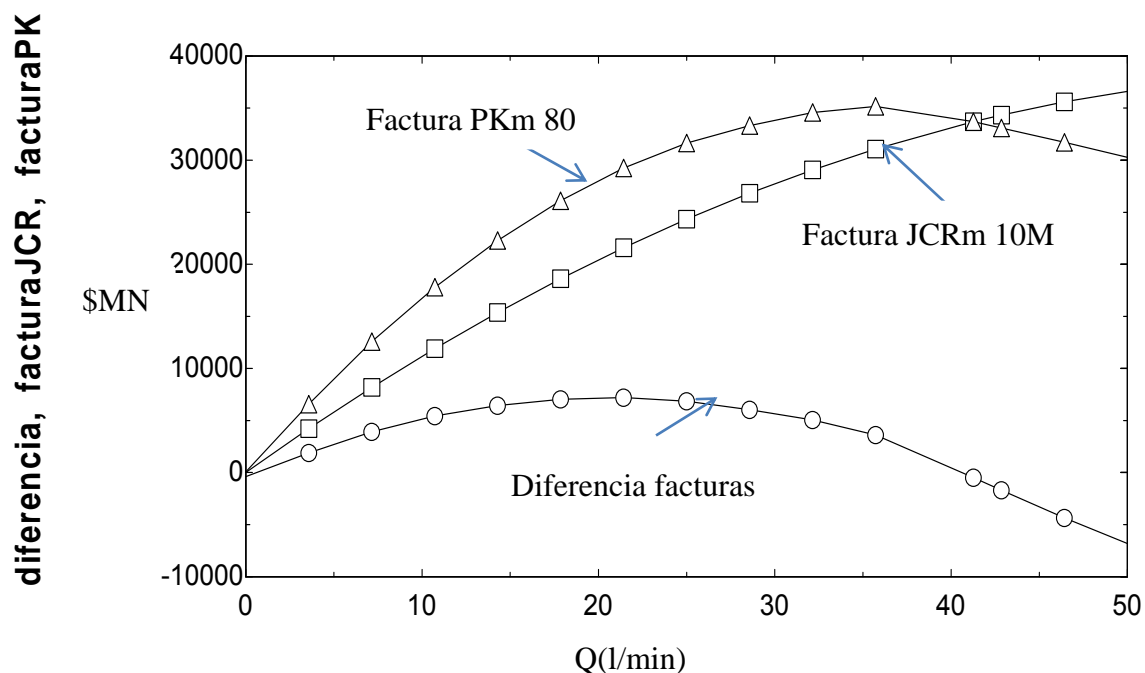
**FIGURA 1.3.4.14.** Gráfica resultados económicos 24h y 1\$/kW

El momento donde la diferencia de facturas es 0 corresponde a  $x_2=Q=40,36$ . La mayor diferencia a favor de PKm 80 es en  $Q=20,95$  y es de 4647 pesos y por parte de la JCRm 10M es en  $Q=50$  y es de 4691 pesos.

-Para 24 horas y 1,5\$/kW:

**TABLA 1.3.4.15.** Resultados económicos para 24h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia Pkm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 383,50          | 0,00                | 79,17              | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 3.927,00          | 8.180,00            | 12.569,00          | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 6.444,00          | 15.377,00           | 22.284,00          | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 7.193,00          | 21.590,00           | 29.246,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 6.843,00          | 24.328,00           | 31.634,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 5.053,00          | 29.067,00           | 34.583,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 1.072,00          | 32.822,00           | 34.357,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 1.696,00        | 34.331,00           | 33.098,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 4.344,00        | 35.595,00           | 31.713,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 6.805,00        | 36.612,00           | 30.270,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



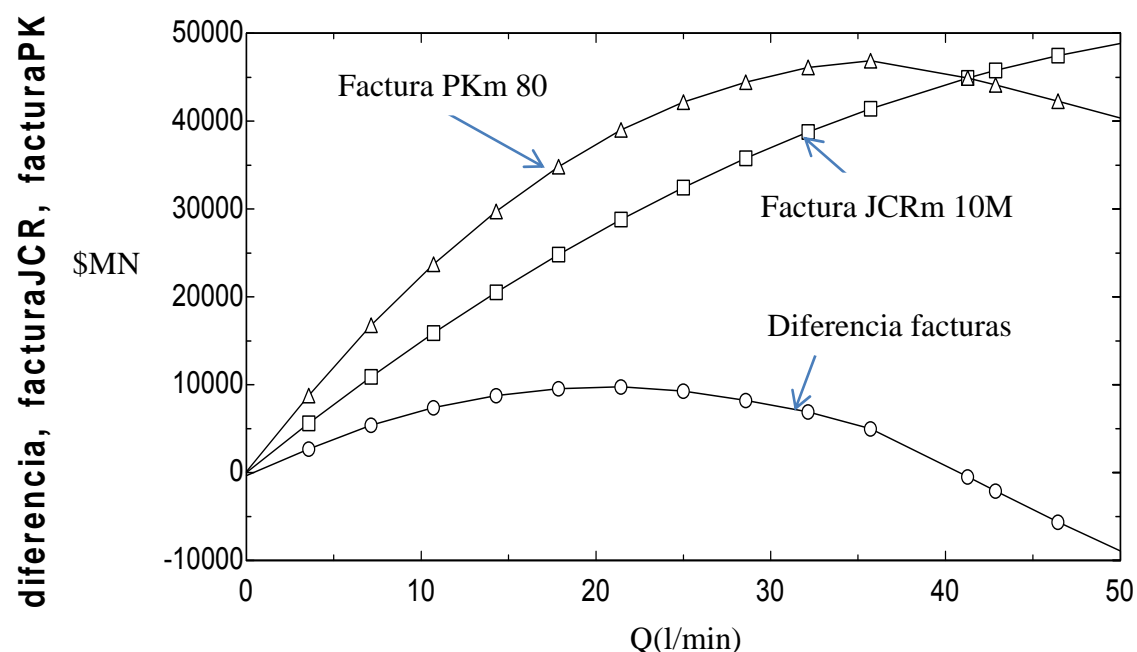
**FIGURA 1.3.4.15.** Gráfica resultados económicos 24h y 1,5\$/kW

El punto donde la diferencia es 0 se da en 40,66 l/min. En Q=20,89 l/min resulta mejor comprar la bomba PKm 80 ahorrándonos 7202 pesos y el punto donde es más rentable la JCRm 10M es para 50 l/min con un ahorro de 6805 pesos.

-Para 24 horas y 2\$/kW:

**TABLA 1.3.4.16.** Resultados económicos para 24h y 2\$/KW

| Diferencia(\$ MN) | Factura JCRm (\$MN) | Factura Pkm (\$MN) | Potencia JCRm (kW) | Potencia PKm (kW) | Q(l/m in) | Q(l/m in) |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|
| - 357,10          | 0,00                | 105,60             | 2,67E-09           | 0,0004699         | 0         | 0         |
| 5.390,00          | 10.907,00           | 16.759,00          | 0,04855            | 0,0746            | 7,143     | 7,143     |
| 8.747,00          | 20.502,00           | 29.712,00          | 0,09127            | 0,1323            | 14,29     | 14,29     |
| 9.745,00          | 28.787,00           | 38.995,00          | 0,1281             | 0,1736            | 21,43     | 21,43     |
| 9.278,00          | 32.438,00           | 42.178,00          | 0,1444             | 0,1878            | 25        | 25        |
| 6.891,00          | 38.756,00           | 46.110,00          | 0,1725             | 0,2053            | 32,14     | 32,14     |
| 1.584,00          | 43.763,00           | 45.810,00          | 0,1948             | 0,2039            | 39,29     | 39,29     |
| - 2.107,00        | 45.775,00           | 44.131,00          | 0,2038             | 0,1965            | 42,86     | 42,86     |
| - 5.638,00        | 47.460,00           | 42.284,00          | 0,2113             | 0,1882            | 46,43     | 46,43     |
| - 8.919,00        | 48.816,00           | 40.360,00          | 0,2173             | 0,1797            | 50        | 50        |



**FIGURA 1.3.4.16.** Gráfica resultados económicos 24h y 2\$/kW

El momento donde la diferencia de facturas es 0 se da en  $x_2=Q=40,81$  l/min. En  $Q=20,83$  se encuentra la mayor diferencia a favor de PKm 80 ahorrando 9757 pesos. EN  $Q=50$  se encuentra el punto donde la JCRm 10M resulta más económica con una diferencia de 8919 pesos.

### 1.3.5) Comparación de resultados

Se puede observar como las gráficas tiene un comportamiento parecido pero con diferentes magnitudes de costos. Mientras que para el caso de 1 hora la diferencia máxima llega a 815,00, la cual no es muy significativa por lo que no importa mucho que bomba usa para el caso de 24 horas la diferencia llega hasta 8.919,00 pesos entre el precio de la factura de las bombas.

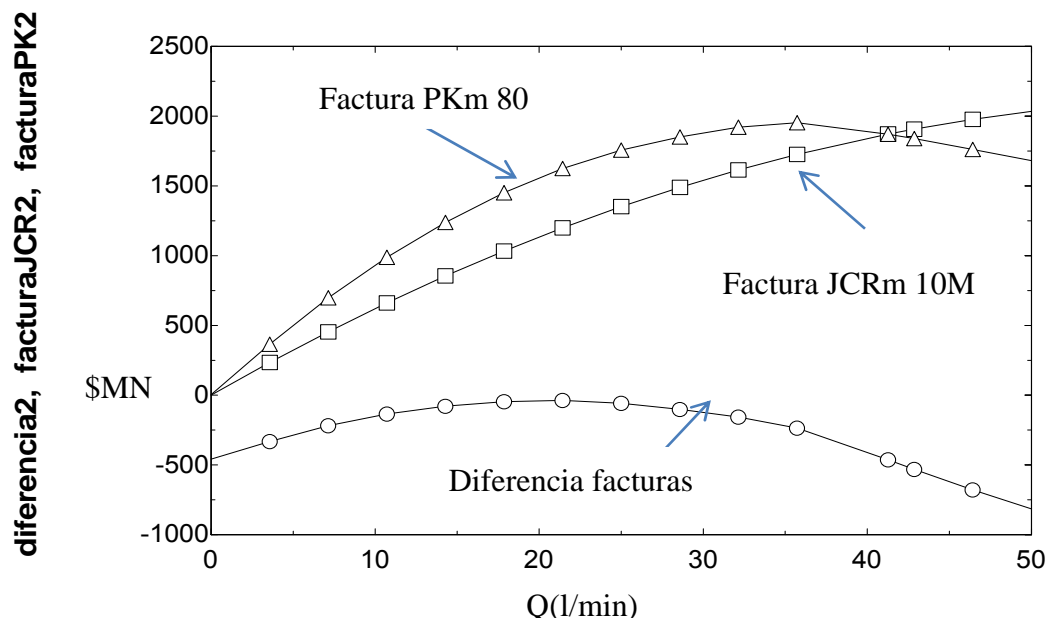


FIGURA 1.3.5.1. Grafica resultados económicos 1h y 2\$/kW

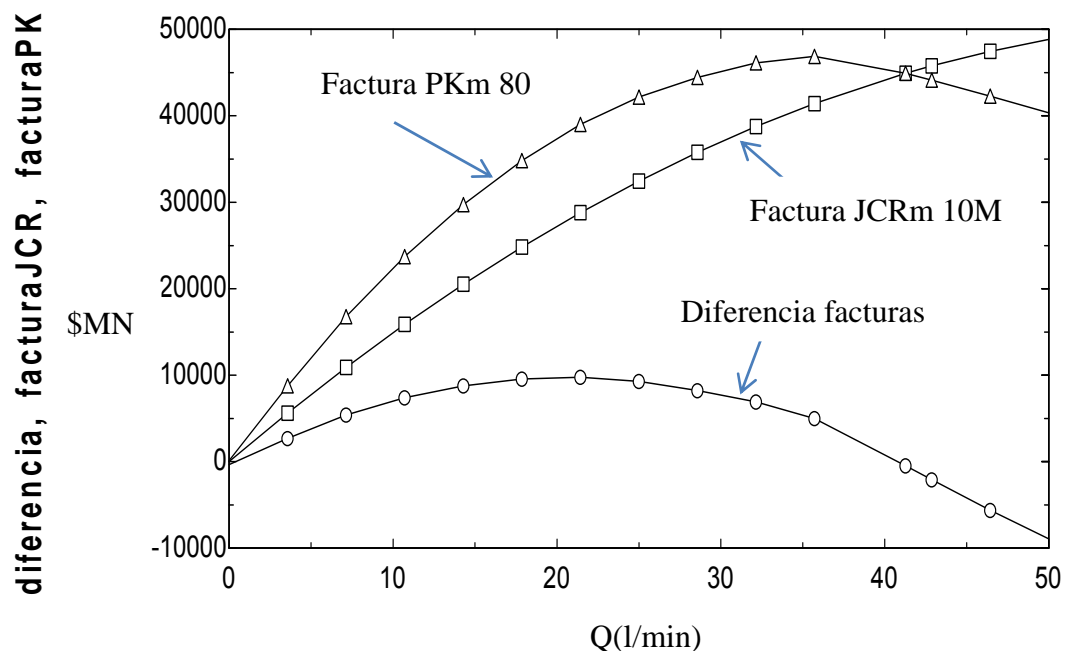


FIGURA 1.3.5.1. Gráfica resultados económicos 24h y 2\$/kW

## 2) CASO DE ESTUDIO DE BOMBAS DE 20HP

### 2.1) Bombas empleadas de 20HP:

1) Nombre: K1 1/2H

Campo de prestaciones:

- Succion: 2"
- Descarga: 1,5"

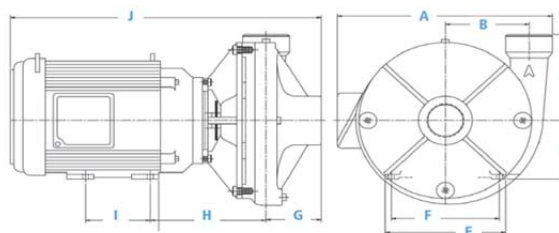


FIGURA 2.1.1. Bomba K1 1/2H

Parte mecánica: KH Roscada

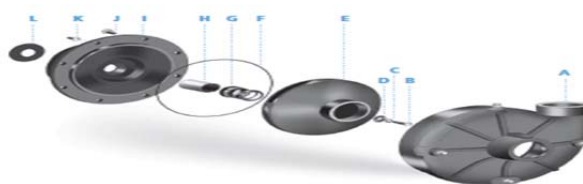
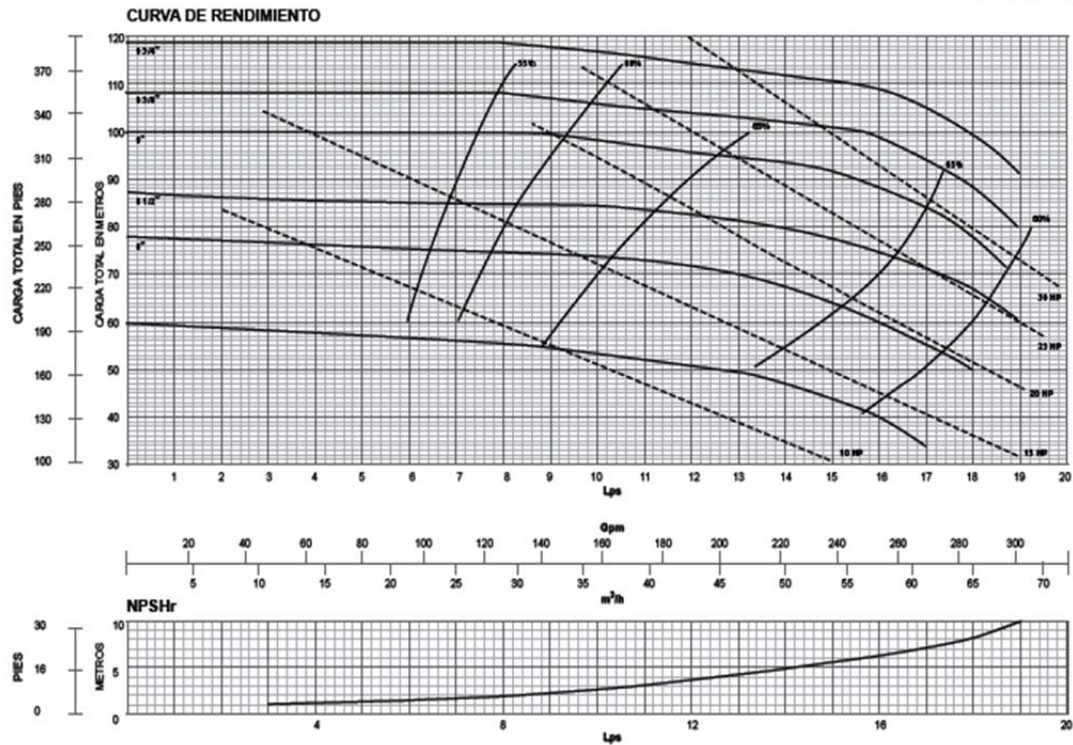


FIGURA 2.2.2. Forma Impulsor K1 1/2H

Curvas características:

**Centrífuga / Alta Presión**  
**Modelo K1 1/2H**

**R.P.M. 3450**  
**2" x 1 1/2"**  
**Succión y Descarga**  
Gráfica MKT40

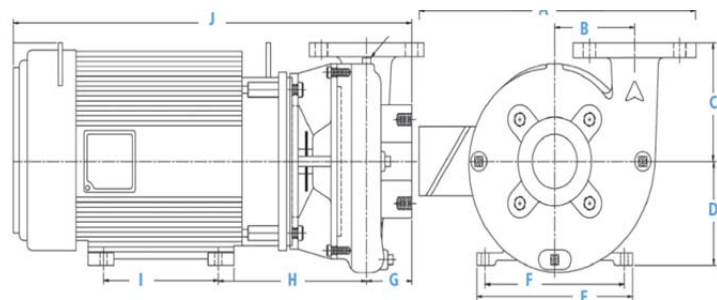


**FIGURA 2.2.3.** Curva característica bomba K1 1/2H

2) Nombre: K2 1/2H

Campo de prestaciones:

- Succion:3"
- Descarga:2,5"



**FIGURA 2.2.4. Bomba K2 1/2H**

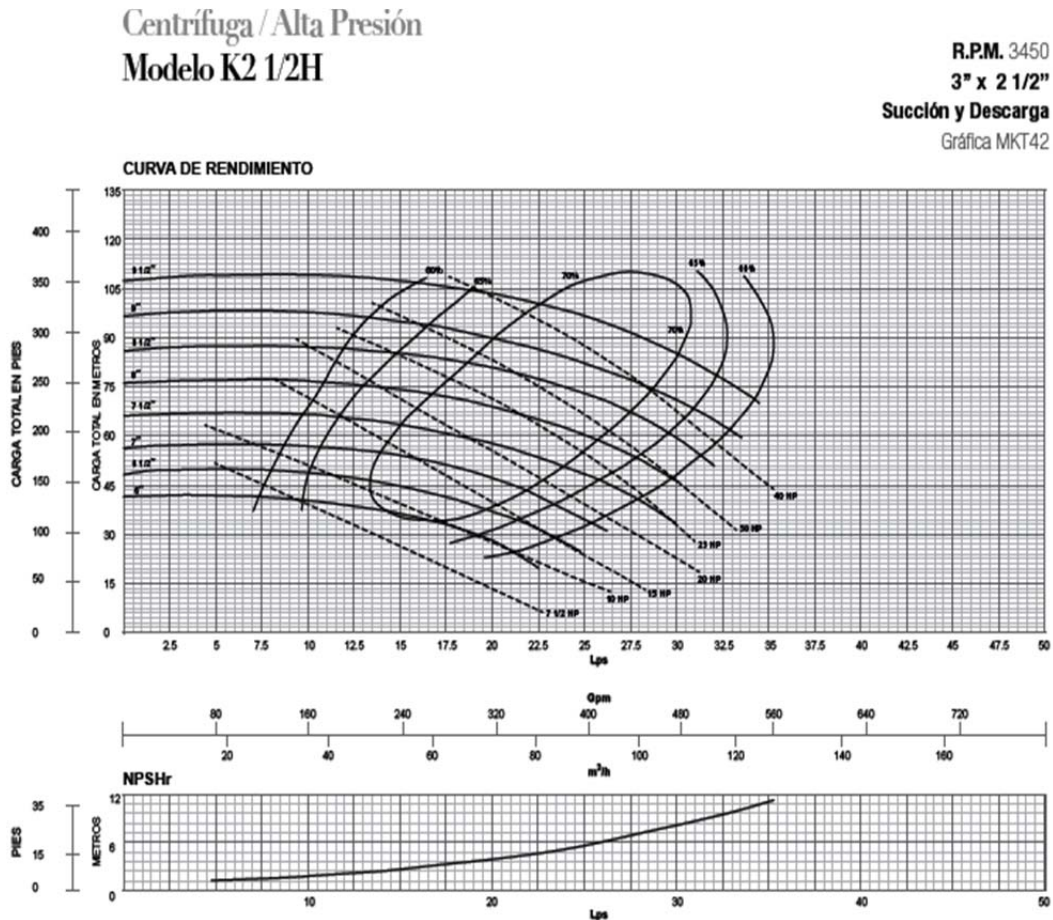
## Parte mecánica: KH Bridada



**FIGURA 2.2.5.** Forma impulsor bomba K2 1/2H



## curvas características



## 2.2) Comparación de bombas empleadas

### 2.2.1) concordancias de las bombas

- 1) Utilizables para aplicaciones industriales, comerciales (pequeños y medianos edificios), agrícola, equipo auxiliar o periférico, calefacción y aire acondicionado.
- 2) Motor eléctrico de 230/460V, 3 fases.
- 3) Potencia del motor eléctrico de 20HP y 3450rpm.
- 4) Mismos materiales empleados para el cuerpo, impulsor, sellos, eje del motor...

### 2.2.2) diferencias

**TABLA 2.2.2.1.** Diferencias entre bomba K1 1/2h y K2 1/2H



| Diferencias             |         |         |
|-------------------------|---------|---------|
| Nombre                  | K1 1/2H | K2 1/2H |
| Parte mecánica          | Roscada | Bridada |
| caudal máximo(l/min)    | 1140    | 1860    |
| altura máxima(m)        | 102     | 90      |
| succión(pulgadas)       | 2       | 3       |
| descarga(pulgadas)      | 1,5     | 2,5     |
| rendimiento máximo      | 0,65    | 0,7     |
| peso(kg)                | 136     | 132     |
| Precio(pesos mexicanos) | 31166   | 33194   |

## 2.3) Cálculos

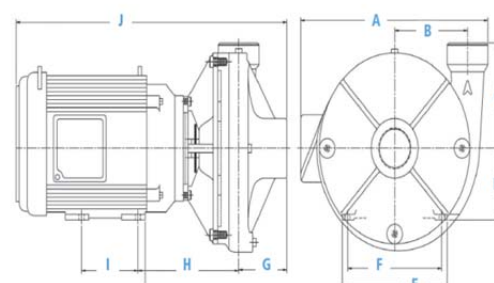
### 2.3.1) Recopilación de datos.

En primer lugar pasaremos los datos proporcionados en las curvas características de las bombas al programa EES para su mejor manejo y posterior realización de los cálculos necesarios.

-Para la bomba de 20HP K1 1/2H:

**TABLA 2.3.1.1.** Datos obtenidos de curva característica bomba K1 1/2H.

|          |      |
|----------|------|
| Q(l/min) | H(m) |
|----------|------|



|      |     |
|------|-----|
| 516  | 102 |
| 540  | 100 |
| 600  | 94  |
| 660  | 89  |
| 720  | 84  |
| 780  | 78  |
| 840  | 72  |
| 900  | 67  |
| 960  | 62  |
| 1020 | 57  |
| 1080 | 51  |
| 1140 | 44  |

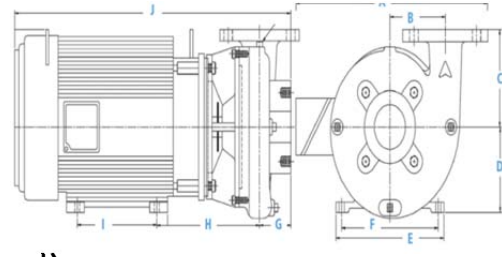
**FIGURA 2.3.1.1** bomba K1 1/2H

-Para la bomba de 20HP K2 1/2H:

**TABLA 2.3.1.1.** Datos obtenidos de curva característica bomba K1 1/2H

| Q(l/min) | H(m) |
|----------|------|
| 570      | 90   |
| 600      | 87   |
| 720      | 81   |
| 840      | 75   |
| 960      | 67,5 |
| 1080     | 61,5 |
| 1200     | 55,5 |
| 1320     | 49,5 |

|      |      |
|------|------|
| 1500 | 39   |
| 1800 | 22,5 |
| 1860 | 19,5 |



A 2.3.1.2. Bomba K2 1/2H

### 2.3.2) Cálculo curva eficiencia

Para el cálculo de la curva de eficiencia ( $\eta/Q$ ) se han utilizado las siguientes formulas.

Sabemos por teoría que:

$$\eta = Ph/P$$

Siendo:

Ph=Potencia hidráulica que se encuentra en las paletas de la bomba.

P=Potencia eléctrica suministrada por el motor a la bomba.

También sabemos que la potencia hidráulica se puede hallar con la siguiente formula:

$$Ph = \rho(\text{kg/m}^3) * Q(\text{m}^3/\text{s}) * g(\text{m/s}) * H(\text{m})$$

Siendo:

$\rho$ = Densidad del agua que son 1000 Kg/m<sup>3</sup>.

Q= Caudal medido en m<sup>3</sup>/s.

$g$ = Fuerza de la gravedad que son 9,81 m/s.

$H$ = Altura manométrica medida en metros.

Para las de 20 HP se ha hallado una media a partir de los datos proporcionados en la curva característica:

En la bomba K1 1/2H tenemos los siguientes datos:

**TABLA 2.3.2.1.** Datos rendimiento K1 1/2H obtenidos de su curva característica

| H(m) | Q(l/min) | n(%) |
|------|----------|------|
| 98   | 552      | 6    |
| 86   | 696      | 65   |
| 65   | 924      | 65   |
| 54   | 1044     | 6    |

Sabemos que:

$$P = Ph/n$$

Calculamos para cada uno de los 4 casos  $P$  y obtenemos después la media y el resultado es  $P = 15067,3792$  w.

Para la bomba K2 1/2H:

**TABLA 2.3.2.2.** Datos rendimiento K2 1/2H obtenidos de su curva característica

| H(m) | Q(l/min) | n(%) |
|------|----------|------|
| 82,5 | 690      | 6    |
| 76,5 | 810      | 65   |

|      |      |    |
|------|------|----|
| 67,5 | 960  | 7  |
| 46,5 | 1380 | 7  |
| 42   | 1440 | 65 |
| 34,5 | 1560 | 6  |

Procedemos de misma manera que en el caso anterior y nos da una  $P=15183,6185\text{ w}$

1) Para la bomba K1 1/2H:

**TABLA 2.3.2.3.** Datos calculados bomba K1 1/2H

| Q(m <sup>3</sup> /h) | Q(m <sup>3</sup> /s) | Q(l/min) | H(m) | Ph(kW)     | n(%)      |
|----------------------|----------------------|----------|------|------------|-----------|
| 30,9612384           | 0,00860034           | 516      | 102  | 8605,67623 | 57,114619 |
| 32,4012961           | 0,00900036           | 540      | 100  | 8829,35317 | 58,59913  |
| 36,0014401           | 0,0100004            | 600      | 94   | 9221,76887 | 61,203536 |
| 39,6015841           | 0,01100044           | 660      | 89   | 9604,37417 | 63,742832 |
| 43,2017281           | 0,01200048           | 720      | 84   | 9888,87556 | 65,631026 |
| 46,8018721           | 0,01300052           | 780      | 78   | 9947,73791 | 66,021687 |
| 50,4020161           | 0,01400056           | 840      | 72   | 9888,87556 | 65,631026 |
| 54,0021601           | 0,0150006            | 900      | 67   | 9859,44438 | 65,435696 |
| 57,6023041           | 0,01600064           | 960      | 62   | 9731,90928 | 64,589264 |
| 61,2024481           | 0,01700068           | 1020     | 57   | 9506,27025 | 63,09173  |
| 64,8025921           | 0,01800072           | 1080     | 51   | 9005,94024 | 59,771113 |
| 68,4027361           | 0,01900076           | 1140     | 44   | 8201,48806 | 54,432081 |

2) Para la bomba K2 1/2H:

**T TABLA 2.3.2.3.** Datos calculados bomba K2 1/2H

| Q(m <sup>3</sup> /h) | Q(m <sup>3</sup> /s) | Q(l/min) | H(m) | Ph(kW)     | n(%)      |
|----------------------|----------------------|----------|------|------------|-----------|
| 34,2001368           | 0,00950004           | 570      | 90   | 8387,58355 | 55,241006 |

|            |            |      |      |            |           |
|------------|------------|------|------|------------|-----------|
| 36,000144  | 0,01000004 | 600  | 87   | 8534,73414 | 56,210146 |
| 43,2001728 | 0,01200005 | 720  | 81   | 9535,35814 | 62,800301 |
| 50,4002016 | 0,01400006 | 840  | 75   | 10300,5412 | 67,839831 |
| 57,6002304 | 0,01600006 | 960  | 67,5 | 10594,8424 | 69,778112 |
| 64,8002592 | 0,01800007 | 1080 | 61,5 | 10859,7134 | 71,522565 |
| 72,000288  | 0,02000008 | 1200 | 55,5 | 10889,1436 | 71,716393 |
| 79,2003168 | 0,02200009 | 1320 | 49,5 | 10683,1327 | 70,359597 |
| 90,00036   | 0,0250001  | 1500 | 39   | 9564,78826 | 62,994129 |
| 108,000432 | 0,03000012 | 1800 | 22,5 | 6621,77649 | 43,61132  |
| 111,600446 | 0,03100012 | 1860 | 19,5 | 5930,16872 | 39,05636  |

Con los datos obtenidos en las tablas se ha utilizado el programa Table Curve 2D con el cual se puede representar de forma más las curvas de eficiencia correspondientes y obtener las ecuaciones de estas con menos, estas ecuaciones obtenidas luego serán usadas en el programa matemático EES para determinar las gráficas y puntos de corte.

### 2.3.2.1) Ecuaciones y gráficas eficiencia

-Ecuación eficiencia para la bomba k1 1/2H 20-2:

$$y_6 = a_2 + b_2/x_6 + c_2/x_6^2 + d_2/x_6^3 + e_2/x_6^4 + f_2/x_6^5 + g_2/x_6^6 + h_2/x_6^7$$

Siendo:

$$a_2 = -102,050963$$

$$b_2 = 494516,8649$$

$$c_2 = -1,0092e+09$$

$$d_2 = 1,12987e+12$$

$$e_2 = -7,4864e+14$$

$$f_2 = 2,93331e+17$$

$$g_2 = -6,2906e+19$$

$$h_2 = 5,69505e+21$$

-Ecuación eficiencia para la bomba k2 1/2H 20-2:

$$y_3 = a + b \cdot x_3 + c/x_3 + d \cdot x_3^2 + e/x_3^2 + f \cdot x_3^3 + g/x_3^3 + h \cdot x_3^4$$

Siendo:

$$a = 90,30690446$$

$$b = -0,08962101$$

$$c = -53868,6525$$

$$d = 5,39771e-05$$

$$e = 1,79324e+07$$

$$f = -1,7917e-08$$

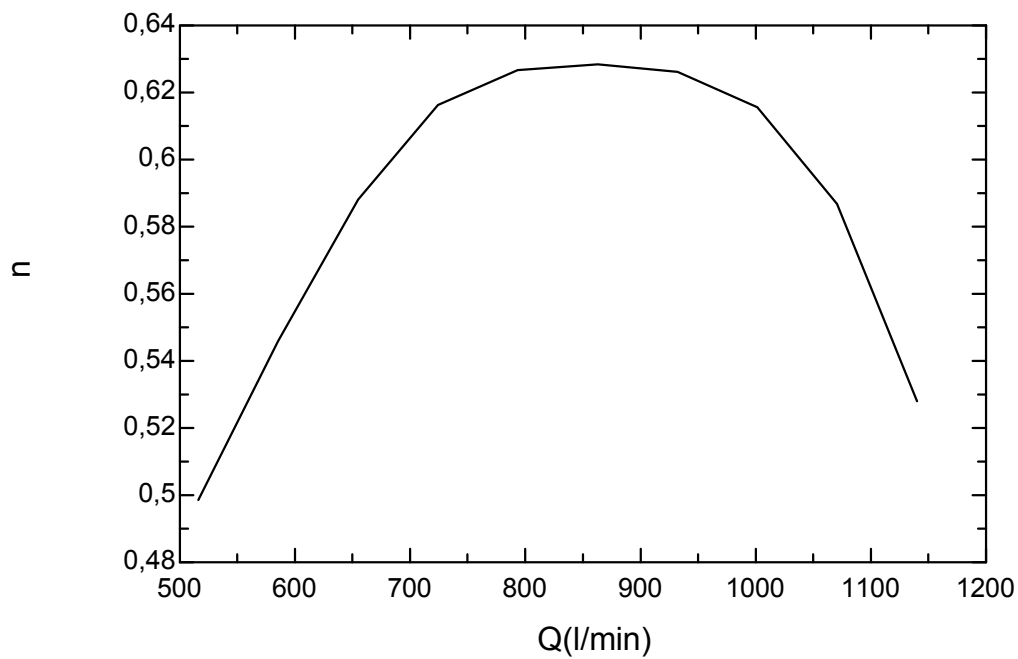
$$g = -2,5675e+09$$

$$h = 2,46594e-12$$

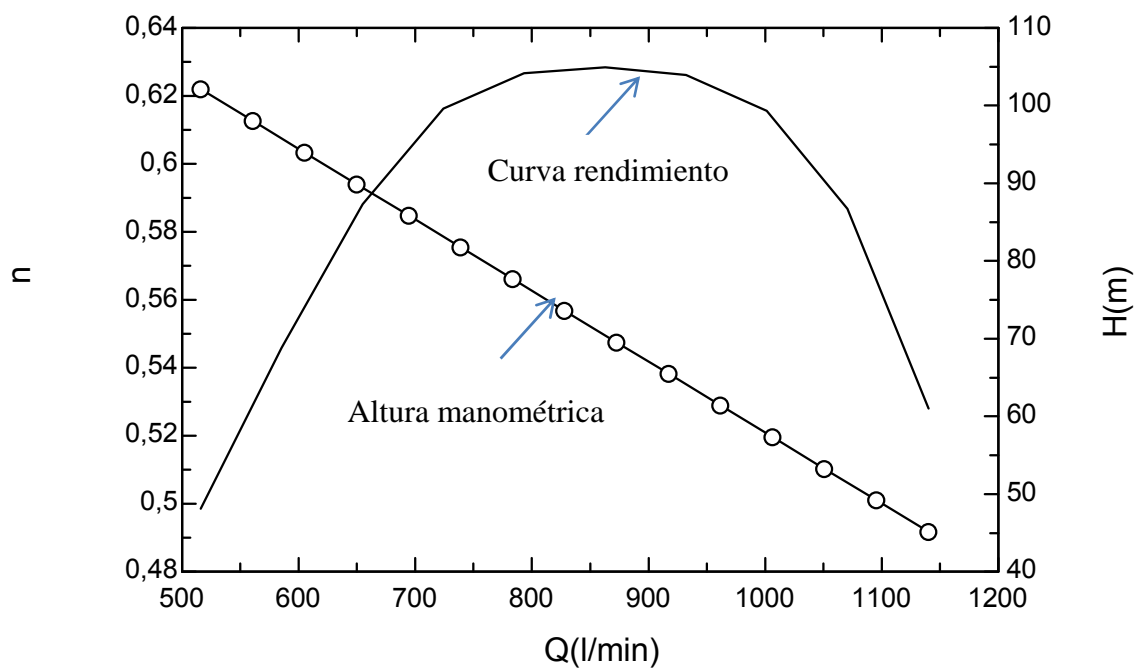
Estas ecuaciones han sido introducidas en el programa matemático EES para representar las gráficas de eficiencia correspondientes a las bombas obteniendo las siguientes curvas:

Para el caso de estudio de bombas de 20HP estas son las gráficas correspondientes:

-Bomba K1 1/2H:



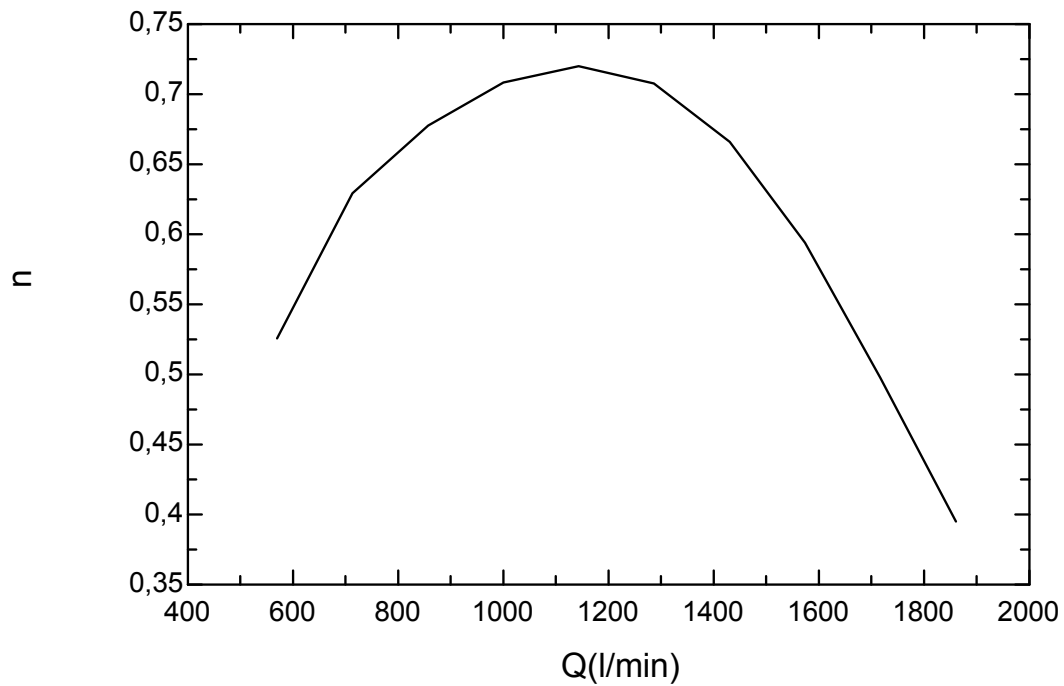
**FIGURA 2.3.2.1** Grafica bomba K1 1/2H rendimiento



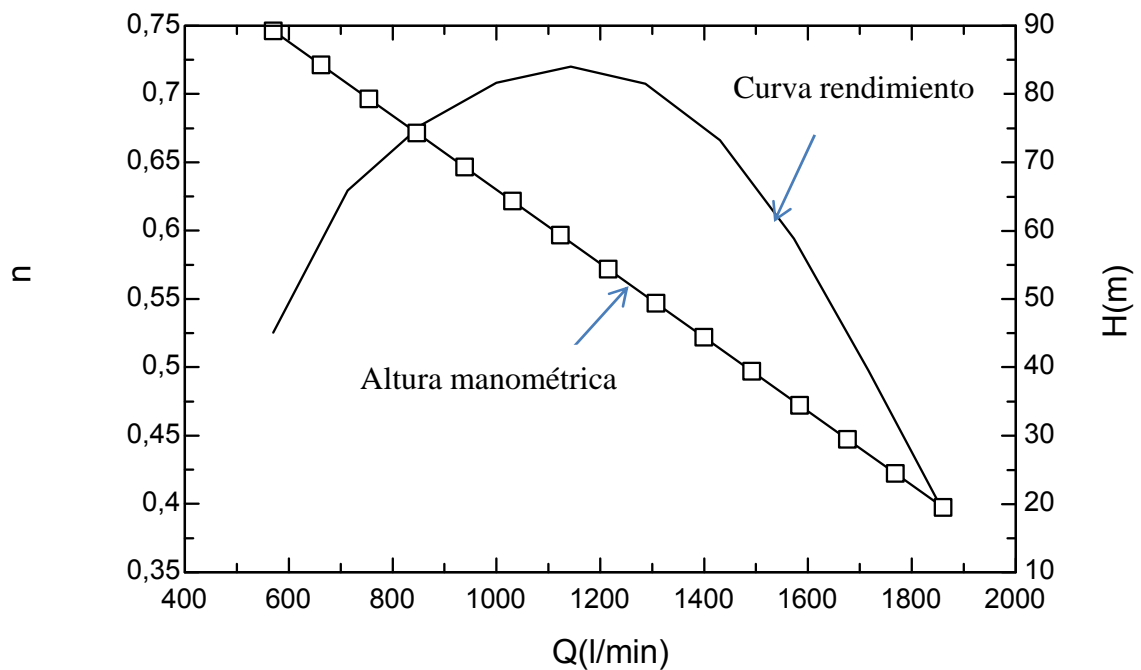
**FIGURA 2.3.2.2.** Grafica bomba K1 1/2H rendimiento y a altura manométrica H.

-Bomba K2 1/2H:





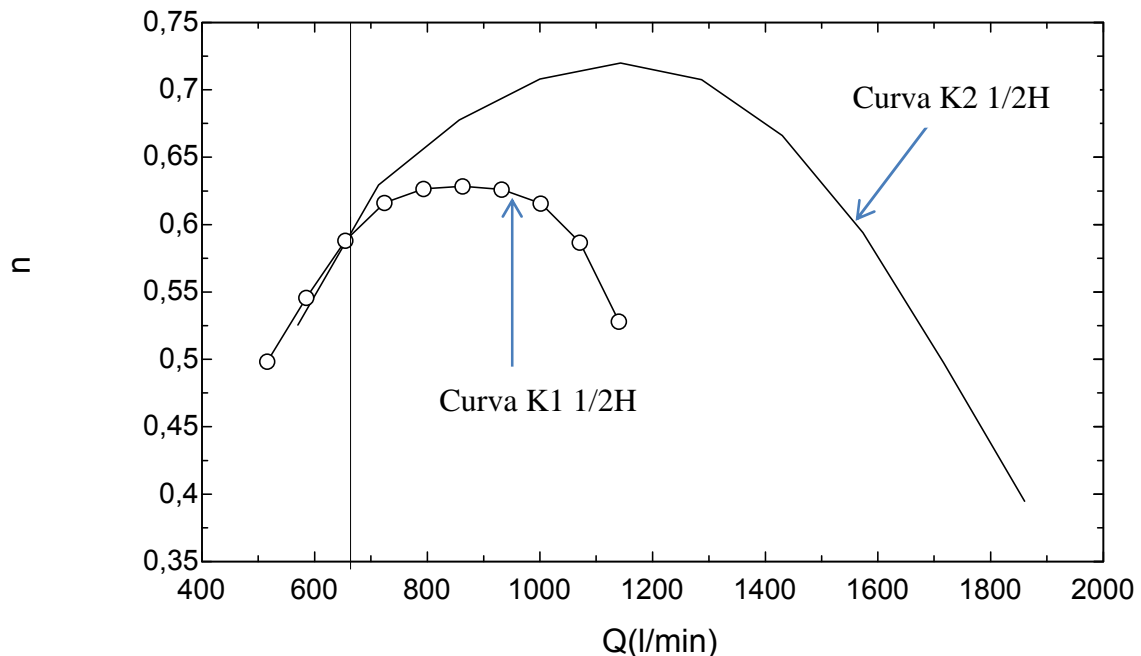
**FIGURA 2.3.2.3.** Grafica bomba K2 1/2H rendimiento



**FIGURA 2.3.2.4** Grafica bomba K2 1/2H rendimiento y a altura manométrica H.

El punto de corte de ambas curvas de eficiencia para el caso de las bombas de 20HP es el  $Q=666$  l/min  $\eta=0,59$ . En la siguiente grafica se muestran ambas

curvas de rendimiento y el punto de corte. Se puede ver que hasta un rendimiento próximo al 60% la bomba K1 1/2H tiene una eficiencia mejor que la otra bomba y después de ese punto la bomba K2 1/2H alcanza un rendimiento mejor llegando hasta el 70% para un caudal cercano a 1200.



**FIGURA 2.3.2.5.** Grafica eficiencias bombas y punto de corte  $Q=666$  l/min

### 2.3.3) Estudio económico

Una vez obtenidos todos los datos de las bombas se procede al estudio económico para el cual hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Los rangos de estudio debido a que las bombas alcanzan diferentes caudales serán:
  - Para las bombas de 20HP de 516 a 1140 l/min.
- 2) Para el estudio económico se emplearan diferentes tipos de tarifa y horarios dependiendo el empleo de la bomba siendo:
  - 1h que equivale al uso de una bomba en una casa.

- 8h que es el tiempo de trabajo de una bomba en una fábrica donde trabaja durante un turno.
- 16h equivale al tiempo que trabaja una bomba en una fábrica durante dos turnos.
- 24h equivale para las fábricas donde la bomba trabaja todo el día sin descanso.
- Las tarifas para el estudio son: 0,765, 1, 1,5 y 2 pesos por kW.

### 3) El precio de las bombas:

-K1  $1/2H=31166$  pesos.

-K2  $1/2H=33194$  pesos.

### 4) Tiempo de vida de las bombas siguiendo la tabla de abajo:

-Para las bombas de 20HP 20 años.

| Rango en Hp                                   | Vida Promedio<br>Yr | Rango de Vida<br>Yr |
|---|---------------------|---------------------|
| Menos de 1                                    | 12.9                | 10 - 15             |
| 1 - 5   | 17.1                | 13 - 19             |
| 5.1 - 20                                      | 19.4                | 16 - 20             |
| 21 - 50                                       | 21.8                | 18 - 26             |
| 51 - 125                                      | 28.5                | 24 - 33             |
| Arriba de 125                                 | 29.3                | 25 - 38             |
| Vida promedio de todas la unidades = 13.27 yr |                     |                     |

**FIGURA 3.3.3.1.** Vida promedio del motor eléctrico de bombas

Tabla tomada de:

“Efficient Electric Motor” Selección and Application

Jonh C. Andreas Edit. Decker, 2da Ed. 1992

ISBN-0-8247-8596-7 pag. 245

Teniendo en cuenta todos estos puntos podemos proceder a calcular la factura de las bombas a lo largo de su vida siendo dicha fórmula:

Factura=Potencia bomba( $P_h$ )\*tarifa factura\*horas de trabajo al día\*30 días/mes\*12meses/año\*tiempo de vida de la bomba

### 3.4) Resultados económicos para las bombas de 20HP

A continuación se muestran las tablas y graficas con los resultados obtenidos:

-Para 1hora y 0,765\$/kW:

**TABLA 2.3.4.1.** Resultados económicos para 1h y 0,765\$/kW

| Diferencia(<br>\$MN) | factura K1<br>1/2H(\$MN) | factura K2<br>1/2H(\$MN) | Potencia K1<br>1/2H(kW) | Potencia K2<br>1/2H(kW) | Q(l/<br>min) | Q(l/<br>min) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| 4.797                | 41.373                   | 34.548                   | 7,511                   | 6,272                   | 516          | 516          |
| - 2.291              | 45.300                   | 45.563                   | 8,224                   | 8,272                   | 585,3        | 585,3        |

|          |        |        |       |       |       |       |
|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| - 3.448  | 48.814 | 50.233 | 8,862 | 9,12  | 654,7 | 654,7 |
| - 3.889  | 51.143 | 53.004 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| - 5.117  | 52.004 | 55.093 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 6.677  | 52.154 | 56.803 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| - 8.251  | 51.967 | 58.190 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| - 10.181 | 51.090 | 59.243 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| - 13.258 | 48.699 | 59.929 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| - 18.413 | 43.817 | 60.202 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

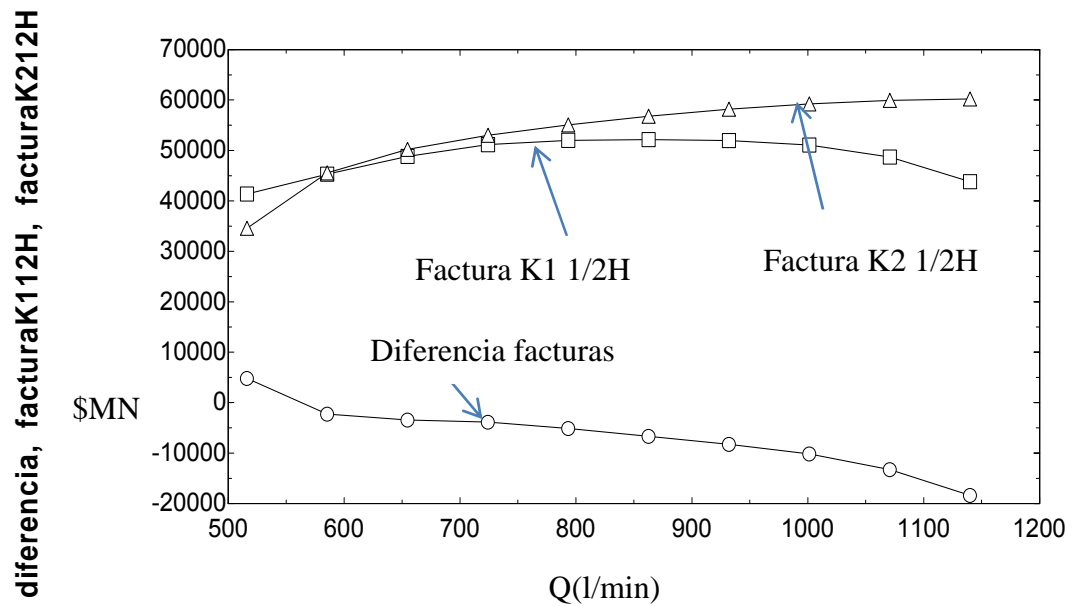


FIGURA 2.3.4.1. Gráfica resultados económicos 1h y 0,765\$/kW

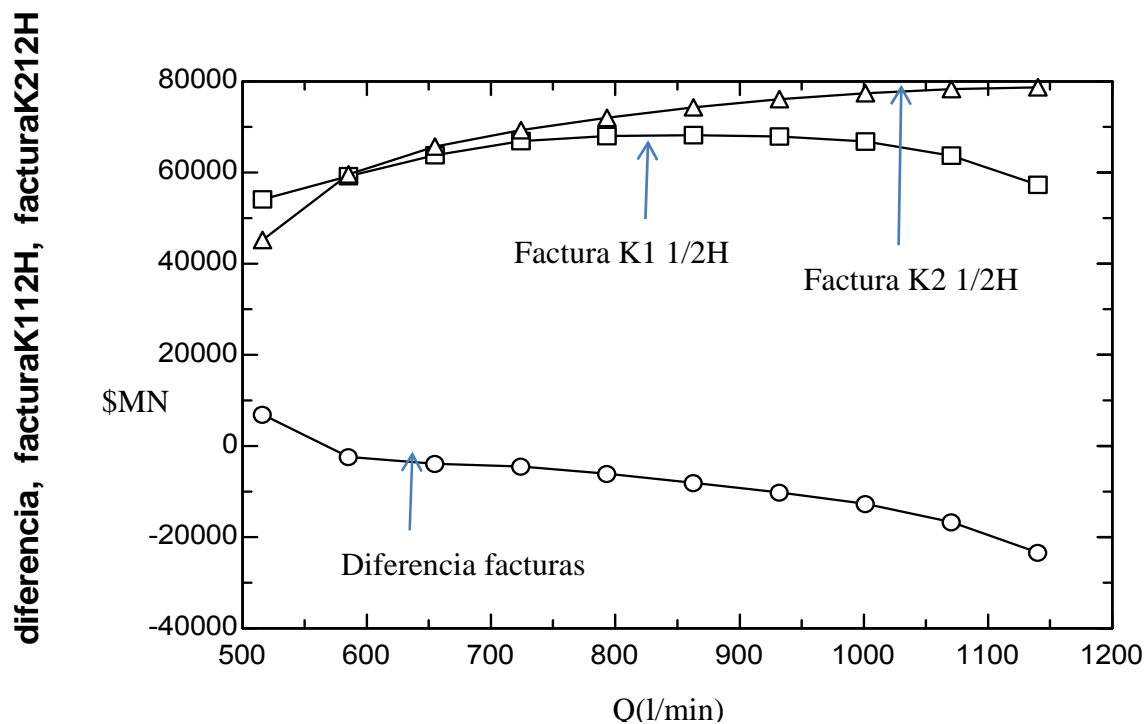
El punto donde la diferencia es 0 es en  $x_3=Q=552,3$  l/min desde 516 l/min hasta dicho punto la mejor opción es la K1 1/2H ahorrándonos para 516 l/min 4797 pesos. El punto donde resulta mejor la otra bomba es para  $Q=1140$  con un ahorro de 18413 pesos.

-Para 1 hora y 1\$/kW:

TABLA 2.3.4.2. Resultados económicos para 1h y 1\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 6.894            | 54.082                | 45.160                | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -2.372           | 59.215                | 59.559                | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -3.884           | 63.809                | 65.665                | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|         |        |        |       |       |       |       |
|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| -4.460  | 66.854 | 69.287 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -6.066  | 67.979 | 72.016 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -8.105  | 68.175 | 74.252 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -10.163 | 67.930 | 76.065 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -12.685 | 66.785 | 77.442 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -16.708 | 63.658 | 78.338 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -23.446 | 57.278 | 78.695 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |



**FIGURA 2.3.4.2.** Gráfica resultados económicos 1h y 1\$KW

Desde Q=516 hasta Q=557,4 es rentable la bomba K1 1/2H alcanzando en el punto Q=516 la mayor diferencia de 6894 pesos. A partir de Q=557,4 es mejor opción la bomba K2 1/2H llegándonos a ahorrar 23446 pesos para 1140 l/min.

-Para 1 hora y 1,5\$/kW:

**TABLA 2.3.4.3.** Resultados económicos para 1h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 11.355           | 81.123                | 67.740                | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 2.544          | 88.823                | 89.339                | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| - 4.812          | 95.713                | 98.497                | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|          |         |         |       |       |       |       |
|----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| - 5.677  | 100.281 | 103.930 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -8.085   | 101.968 | 108.025 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 11.144 | 102.262 | 111.378 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| - 14.231 | 101.895 | 114.098 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| - 18.014 | 100.177 | 116.163 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| - 24.048 | 95.487  | 117.508 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| - 34.155 | 85.916  | 118.043 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

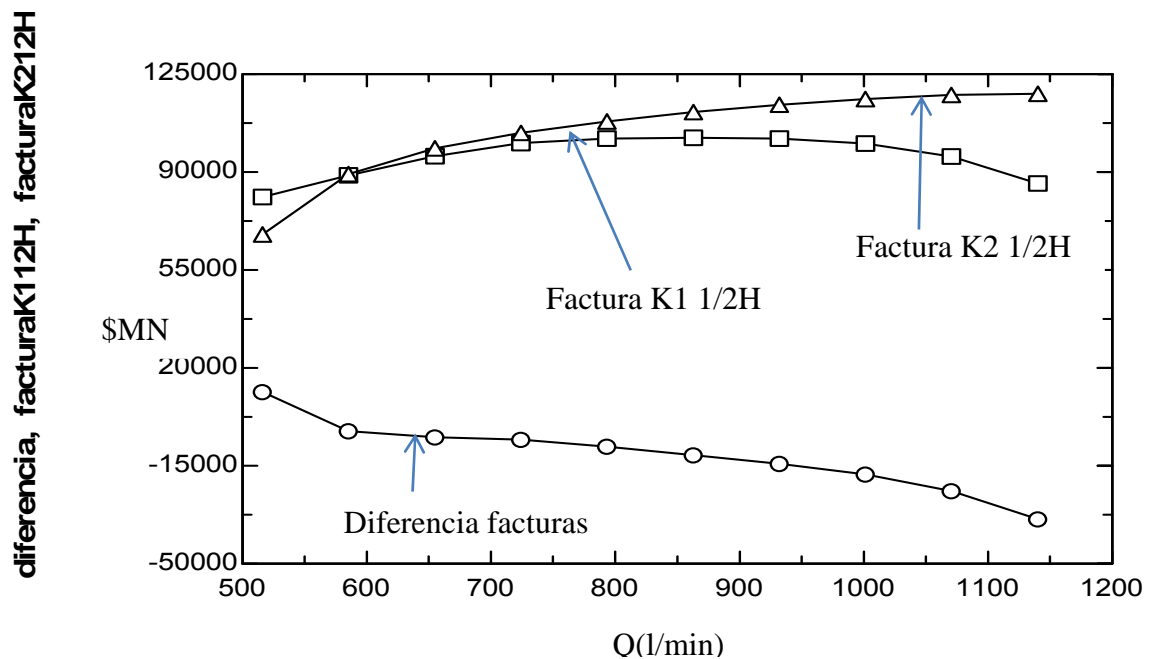


FIGURA 2.3.4.3. Gráfica resultados económicos 1h y 1\$/kW

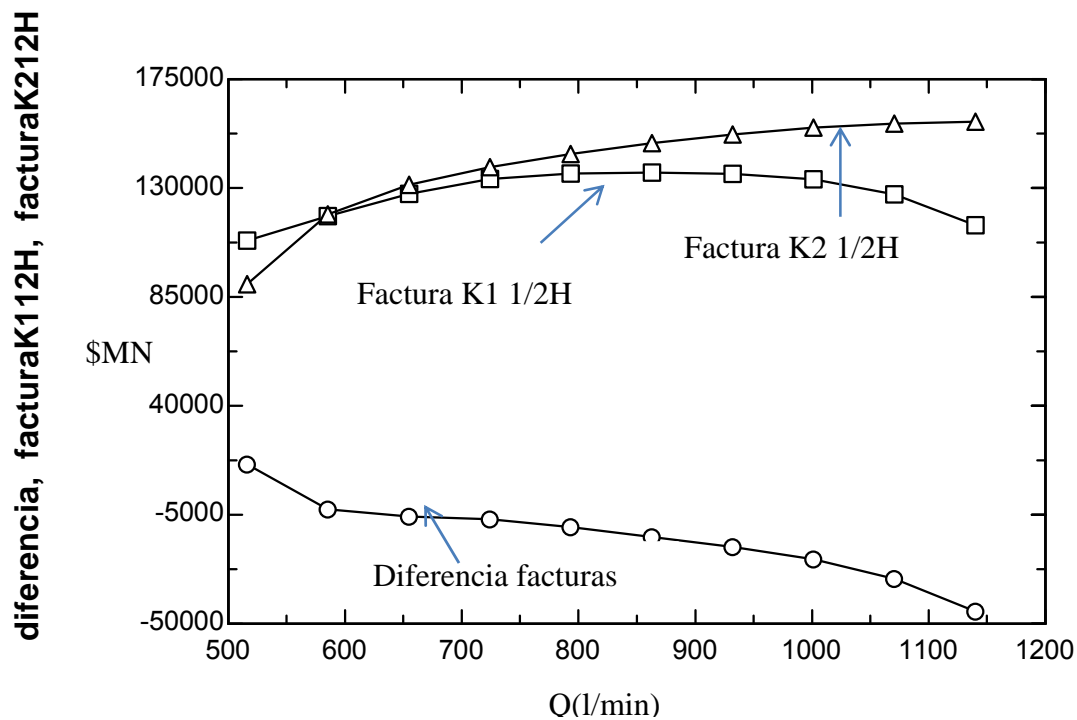
La diferencia de las facturas es 0 para  $Q=563,7$  l/min. Para  $Q=516$  se encuentra la mayor diferencia a favor de la bomba K1 1/2H y es de 11355 pesos. El punto opuesto se encuentra en  $Q=1140$  y la diferencia es de 34155 pesos.

-Para 1 hora y 2\$/kW:

TABLA 2.3.4.4. Resultados económicos para 1h y 2\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 15.816           | 108.164               | 90.320                | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 2.716          | 118.431               | 119.119               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| - 5.740          | 127.617               | 131.329               | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|          |         |         |       |       |       |       |
|----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| - 6.893  | 133.708 | 138.573 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| - 10.103 | 135.958 | 144.033 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 14.182 | 136.350 | 148.504 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -18.299  | 135.860 | 152.131 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| - 23.342 | 133.570 | 154.884 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| - 31.388 | 127.316 | 156.677 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| - 44.864 | 114.555 | 157.391 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |



**FIGURA 2.3.4.4.** Gráfica resultados económicos 1h y 2\$/kW

El punto donde diferencia es 0 es  $Q=567,2$ . En  $Q=516$  la diferencia es de 15816 pesos a favor de K1 1/2H y para  $Q=1140$  con la bomba K2 1/2H ahorramos 44864 pesos.

-Para 8 horas y 0,765\$/kW:

**TABLA 2.3.4.5.** Resultados económicos para 8h y 0.765\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 52.573           | 330.982               | 276.380               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 4.133          | 362.398               | 364.504               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| - 13.387         | 390.509               | 401.867               | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |



|           |         |         |       |       |       |       |
|-----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| -16.914   | 409.148 | 424.034 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| - 26.739  | 416.030 | 440.741 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 39.220  | 417.230 | 454.422 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| - 51.816  | 415.733 | 465.520 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| - 67.249  | 408.724 | 473.945 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| - 91.871  | 389.588 | 479.431 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| - 133.105 | 350.538 | 481.616 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

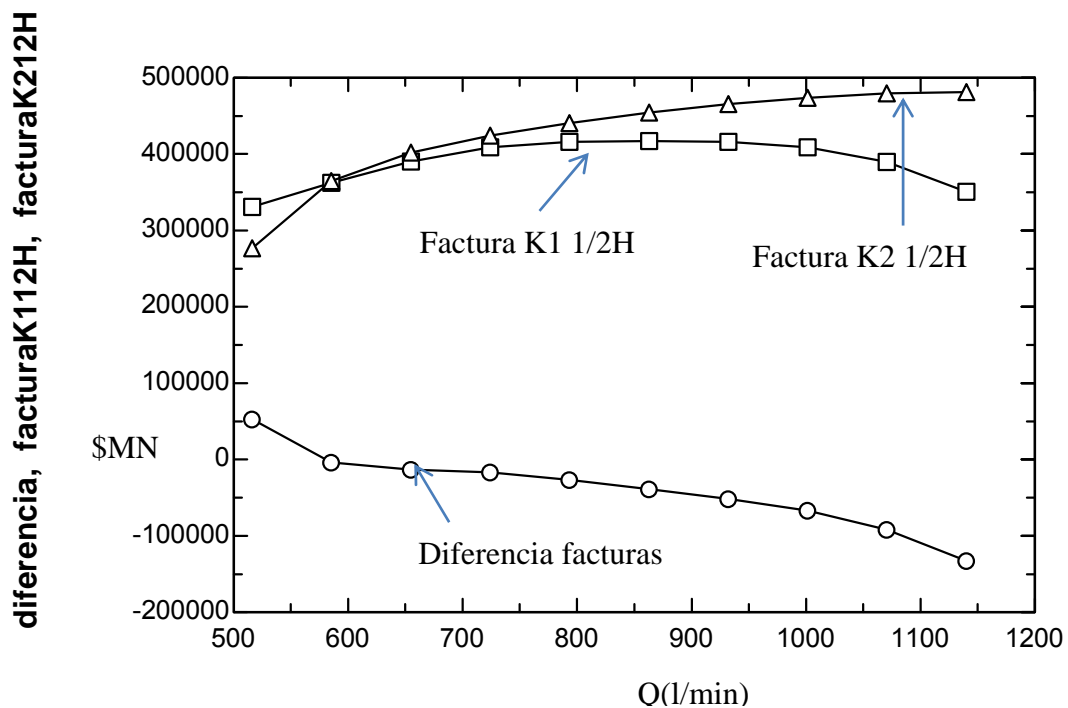


FIGURA 2.3.4.5. Gráfica resultados económicos 8h y 0,765\$/kW

El momento donde la diferencia es 0 es Q=575,3. En Q=516 al elegir la K1 1/2H ahorramos 52573 pesos. En Q=1140 si hemos elegido la bomba K2 1/2H ahorramos 133105 pesos

-Para 8 horas y 1\$/kW:

TABLA 2.3.4.6. Resultados económicos para 8h y 1\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 69.346           | 432.656               | 361.282               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 4.780          | 473.723               | 476.475               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -16.876          | 510.469               | 525.317               | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|           |         |         |       |       |       |       |
|-----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| -21.487   | 534.834 | 554.293 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| - 34.330  | 543.830 | 576.132 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 50.645  | 545.399 | 594.016 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -67.110   | 543.441 | 608.524 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| - 87.285  | 534.279 | 619.536 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| - 119.469 | 509.266 | 626.707 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -173.371  | 458.220 | 629.563 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

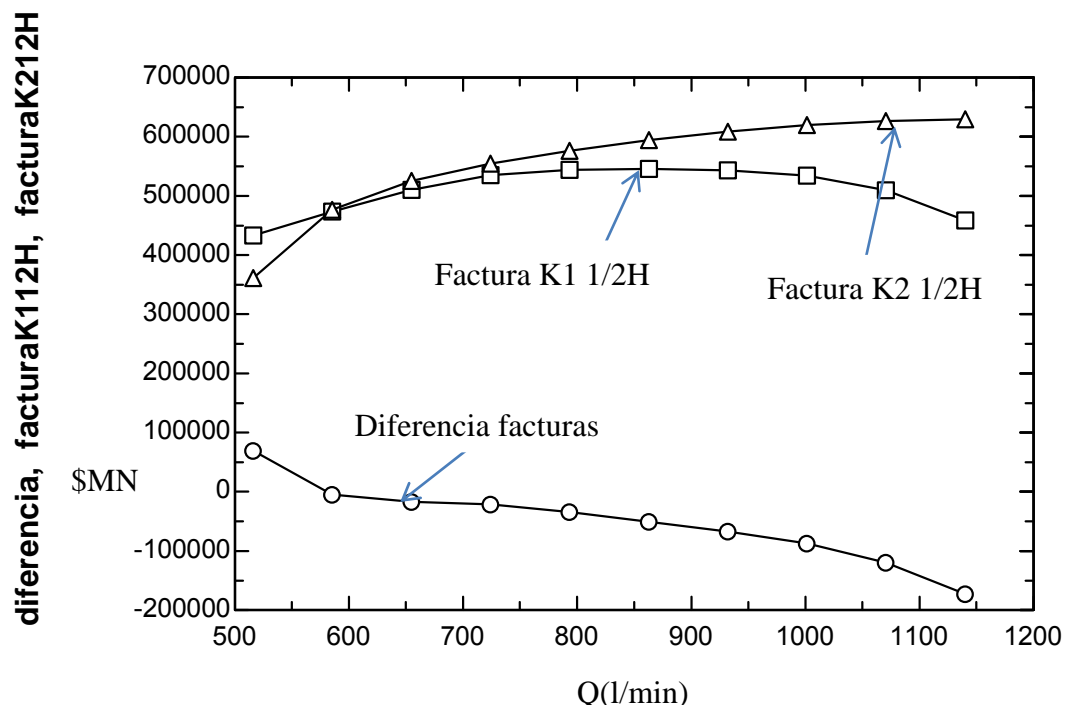


FIGURA 2.3.4.6. Gráfica resultados económicos 8h y 1\$/kW

La diferencia es 0 para un  $Q=576,3$  el momento donde más dinero nos ahorramos con la K1 1/2H es en  $Q=516$  y es 6934600 pesos. Para la K2 1/2H resulta más rentable en  $Q=1140$  ahorrándonos 173371 pesos.

-Para 8 horas y 1,5\$/kW:

TABLA 2.3.4.7. Resultados económicos para 8h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 105.034          | 648.984               | 541.922               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 6.156          | 710.585               | 714.713               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |

|           |         |         |       |       |       |       |
|-----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| - 24.300  | 765.703 | 787.975 | 8,862 | 9,12  | 654,7 | 654,7 |
| - 31.217  | 802.251 | 831.439 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| - 50.480  | 815.746 | 864.198 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 74.953  | 818.099 | 891.024 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| - 99.651  | 815.162 | 912.785 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| - 129.913 | 801.419 | 929.304 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -78.190   | 763.899 | 940.061 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -259.042  | 687.330 | 944.344 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

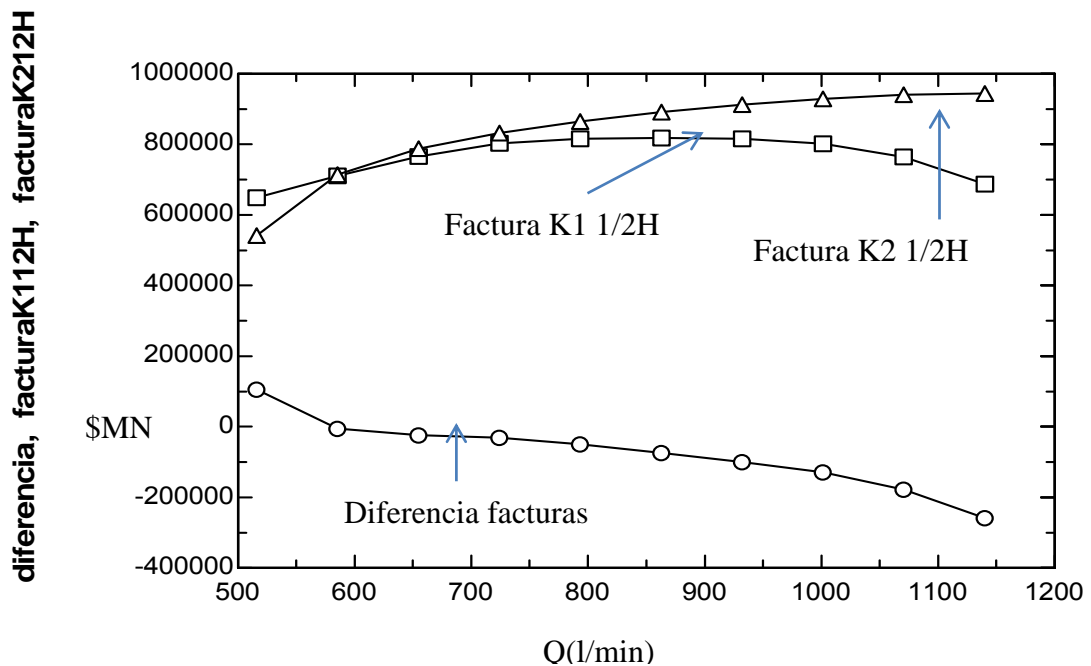


FIGURA 2.3.4.7. Gráfica resultados económicos 8h y 1,5\$/kW

El punto donde diferencia es 0 es  $Q=577,4$ . En  $Q=516$  la diferencia es de 105.034,00 pesos a favor de K1 1/2H y para  $Q=1140$  con la bomba K2 1/2H ahorramos 259.042,0 pesos.

-Para 8 horas y 2\$/kW:

TABLA 2.3.4.8. Resultados económicos para 8h y 2\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 140.721          | 865.312,              | 722.563               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 7.532          | 947.446               | 952.951               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -31.724          | 1.020.000             | 1.051.000             | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|           |           |           |       |       |       |       |
|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -40.946   | 1.070.000 | 1.109.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -66.631   | 1.088.000 | 1.152.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| - 99.262  | 1.091.000 | 1.188.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -132.192  | 1.087.000 | 1.217.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -172.541  | 1.069.000 | 1.239.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| - 236.911 | 1.018.000 | 1.253.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -344.713  | 916.441,  | 1.259.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

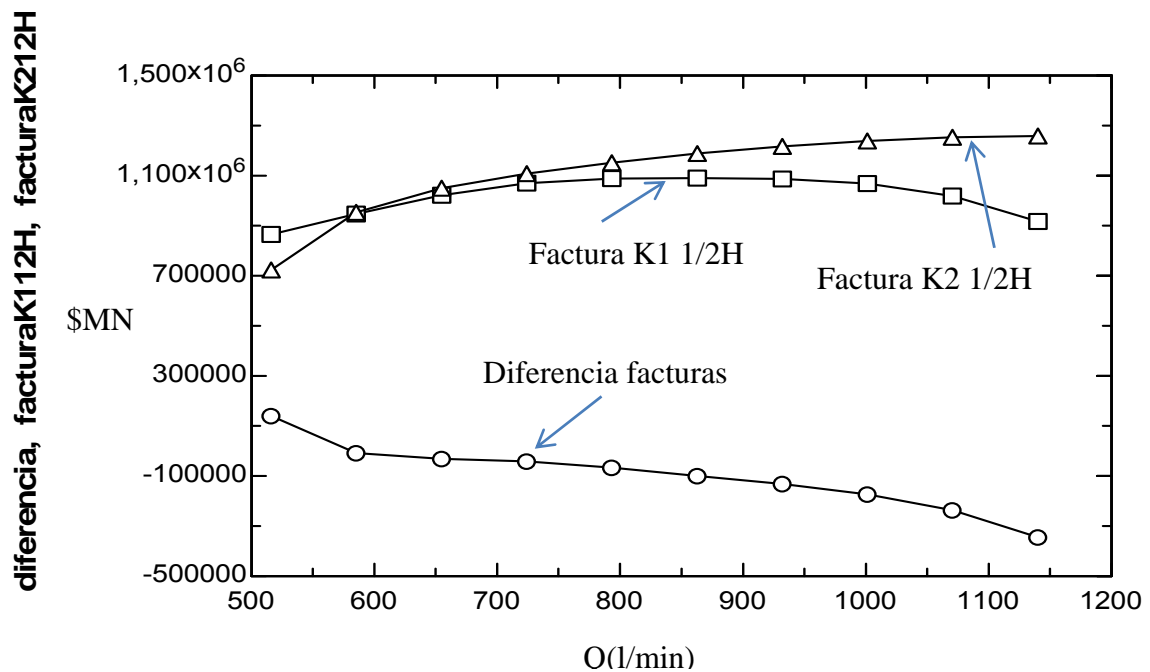


FIGURA 2.3.4.8. Gráfica resultados económicos 8h y 2\$/kW

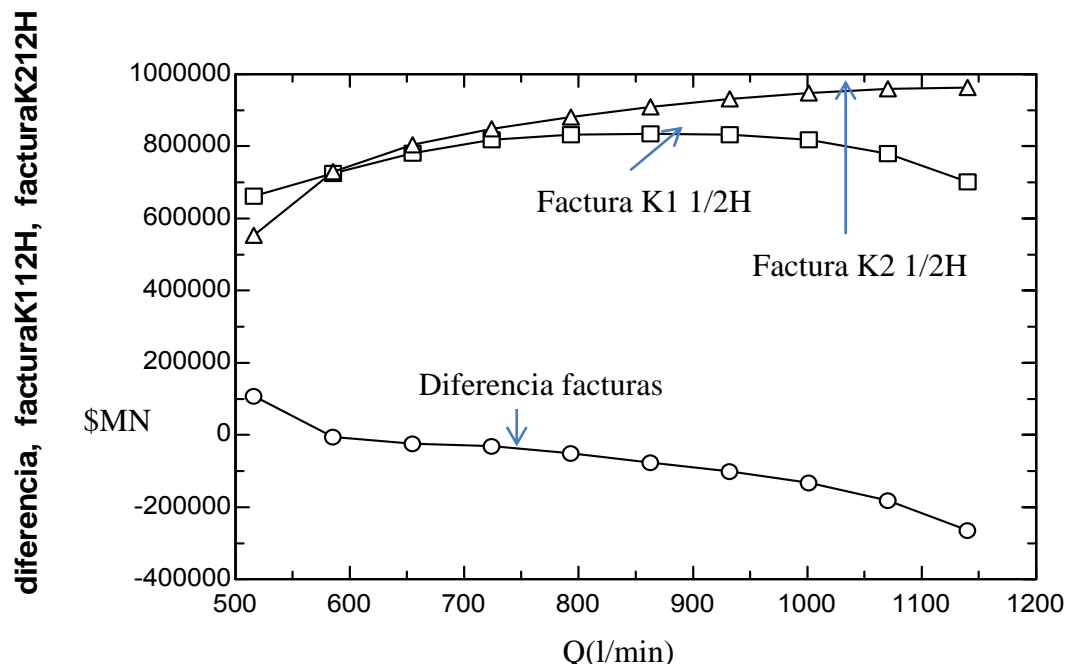
Desde Q=516 hasta Q=578 es rentable la bomba K1 1/2H alcanzando en el punto Q=516 la mayor diferencia de 140.721,00 pesos. A partir de Q=578 es mejor opción la bomba K2 1/2H llegando a ahorrarnos 344.713,00 pesos para 1140 l/min.

-Para 16 horas y 0,765\$/kW:

TABLA 2.3.4.9. Resultados económicos para 16h y 0,765\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 107.175          | 661.964               | 552.761               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| - 6.239          | 724.797               | 729.007               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -24.745          | 781.017               | 803.735               | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|          |         |         |       |       |       |       |
|----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| -31.800  | 818.296 | 848.068 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -51.449  | 832.060 | 881.482 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -76.412  | 834.461 | 908.844 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -101.604 | 831.465 | 931.041 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -132.471 | 817.447 | 947.890 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -181.713 | 779.176 | 958.862 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -264.182 | 701.077 | 963.231 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |



**FIGURA 2.3.4.9.** Gráfica resultados económicos 16h y 0,765\$/kW

El punto donde la diferencia es 0 es  $Q=577,5$ . En  $Q=516$  si elegimos la bomba K1 1/2H ahorramos 1071750 pesos. En  $Q=1140$  al elegir la K2 1/2H ahorramos 264182.

-Para 16 horas y 1\$/kW:

**TABLA 2.3.4.10.** Resultados económicos para 16h y 1\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 140.721          | 865.312               | 722.563               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -7.532           | 947.446               | 952.951               | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -31.724          | 1.020.000             | 1.051.000             | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|          |           |           |       |       |       |       |
|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -40.946  | 1.070.000 | 1.109.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -66.631  | 1.088.000 | 1.152.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -99.262  | 1.091.000 | 1.188.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -132.192 | 1.087.000 | 1.217.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -172.541 | 1.069.000 | 1.239.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -236.911 | 1.018.000 | 1.253.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -344.713 | 16.441    | 1.259.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

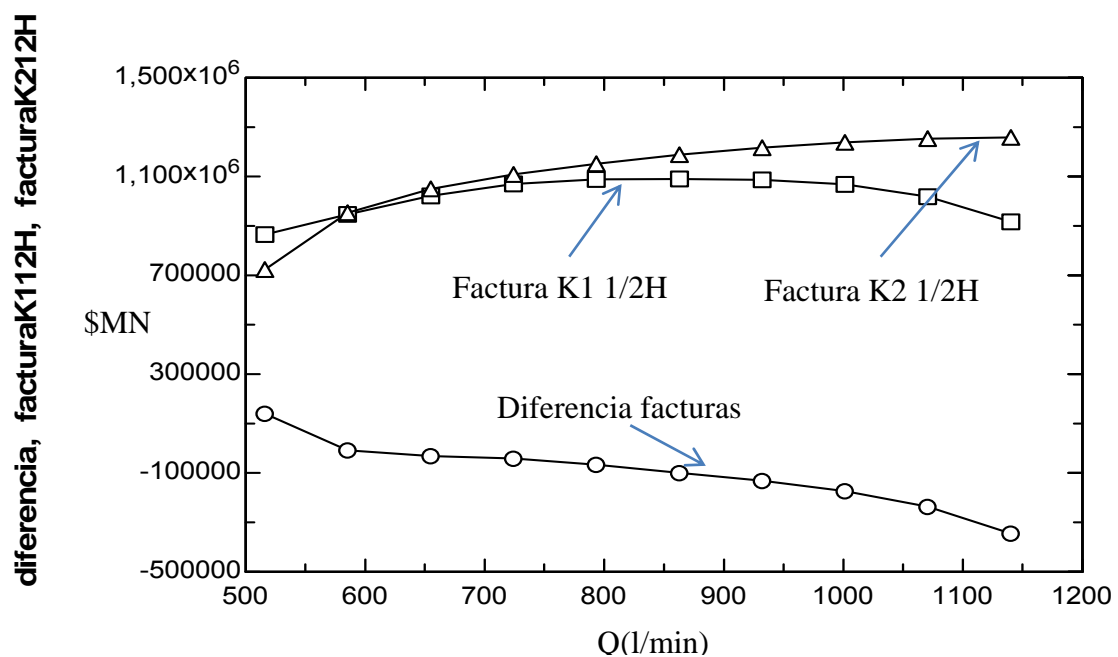


FIGURA 2.3.4.10. Gráfica resultados económicos 16h y 1\$/kW

La diferencia de las facturas es 0 para  $Q=578$  l/min. Para  $Q=516$  se encuentra la mayor diferencia a favor de la bomba K1 1/2H y es de 140.721,00 pesos. El punto opuesto se encuentra en  $Q=1140$  y la diferencia es de 344.713,00 pesos.

-Para 16 horas y 1,5\$/kW:

TABLA 2.3.4.11. Resultados económicos para 16h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 212.095          | 1.298.000             | 1.084.000             | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -10.285          | 1.421.000             | 1.429.000             | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -46.572          | 1.531.000             | 1.576.000             | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|          |           |           |       |       |       |       |
|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -60.405  | 1.605.000 | 1.663.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -98.933  | 1.631.000 | 1.728.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -147.879 | 1.636.000 | 1.782.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -197.274 | 1.630.000 | 1.826.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -257.798 | 1.603.000 | 1.859.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -354.352 | 1.528.000 | 1.880.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -516.056 | 1.375.000 | 1.889.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

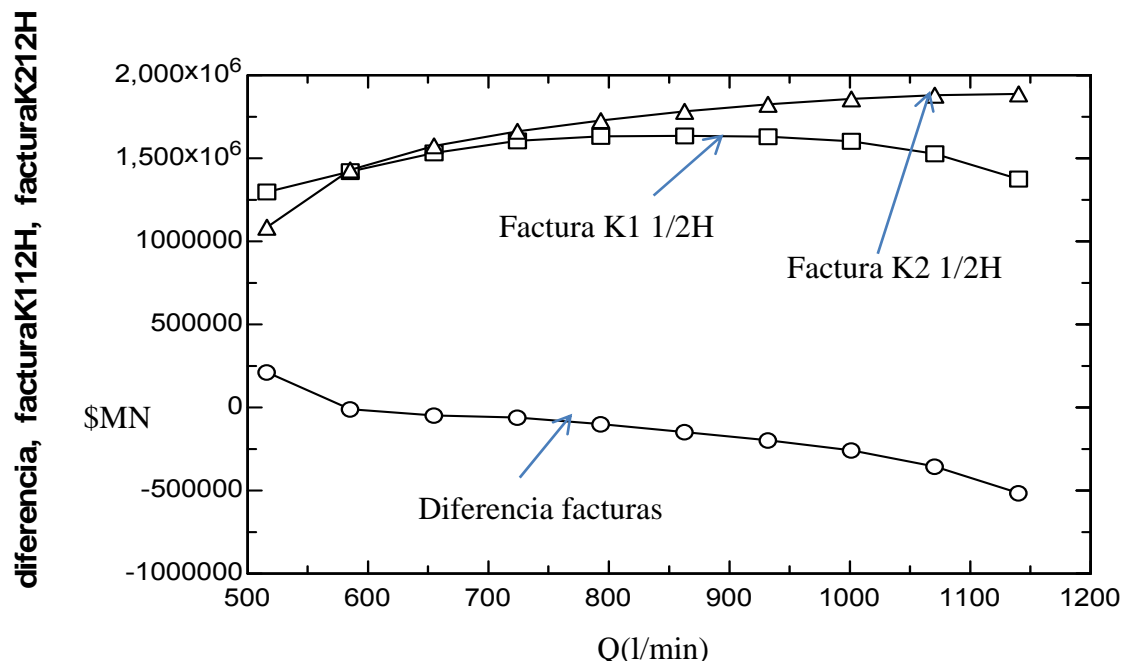


FIGURA 2.3.4.11. Gráfica resultados económicos 16h y 1,5\$/kW

El punto donde la diferencia es 0 es en  $x_3=Q=578,5$  l/min desde 516 l/min hasta dicho punto la mejor opción es la K1 1/2H ahorrándonos para 516 l/min 212.095,00 pesos. El punto donde resulta mejor la otra bomba es para  $Q=1140$  con un ahorro de 516.056,00 pesos.

-Para 16 horas y 2\$/kW:

TABLA 2.3.4.12. Resultados económicos para 16h y 2\$/kW.

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 283.470          | 1.731.000             | 1.445.000             | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -13.037          | 1.895.000             | 1.906.000             | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |
| -61.420          | 2.042.000             | 2.101.000             | 8,862                | 9,12                 | 654,7    | 654,7    |

|          |           |           |       |       |       |       |
|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -79.864  | 2.139.000 | 2.217.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -131.234 | 2.175.000 | 2.305.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -196.496 | 2.182.000 | 2.376.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -262.356 | 2.174.000 | 2.434.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -343.055 | 2.137.000 | 2.478.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -471.794 | 2.037.000 | 2.507.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -687.399 | 1.833.000 | 2.518.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

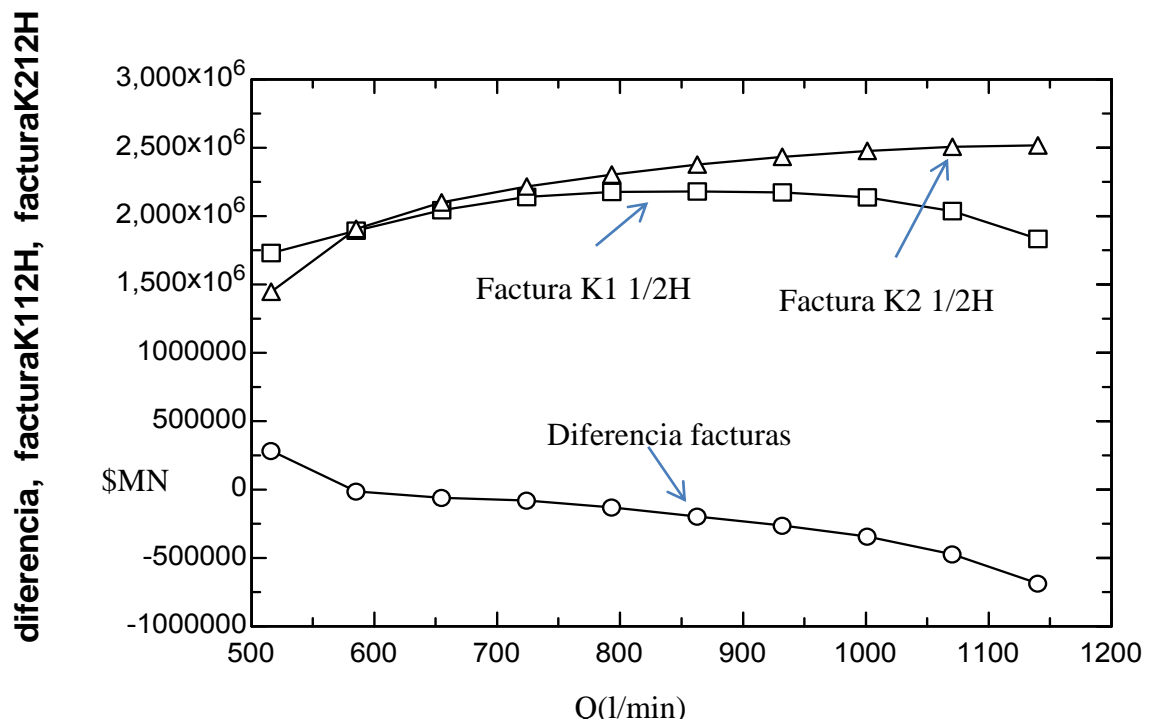


FIGURA 2.3.4.12. Gráfica resultados económicos 16h y 2\$/kW

En  $Q=578,9$  la diferencia de las facturas de las bombas es 0. La mayor diferencia a favor de la K1 1/2H se da en  $Q=516$  y es 283470 pesos y a favor de K2 1/2H es en  $Q=1140$  con un ahorro de 687399 pesos.

-Para 24 horas y 0,765\$/kW:

TABLA 2.3.4.13. Resultados económicos para 24h y 1\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 161.776          | 992.946               | 829.141               | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -8.344           | 1.087.000             | 1.094.000             | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |



|          |           |           |       |       |       |       |
|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -36.104  | 1.172.000 | 1.206.000 | 8,862 | 9,12  | 654,7 | 654,7 |
| -46.687  | 1.227.000 | 1.272.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -76.160  | 1.248.000 | 1.322.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -113.604 | 1.252.000 | 1.363.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -151.391 | 1.247.000 | 1.397.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -197.692 | 1.226.000 | 1.422.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -271.556 | 1.169.000 | 1.438.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -395.259 | 1.052.000 | 1.445.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

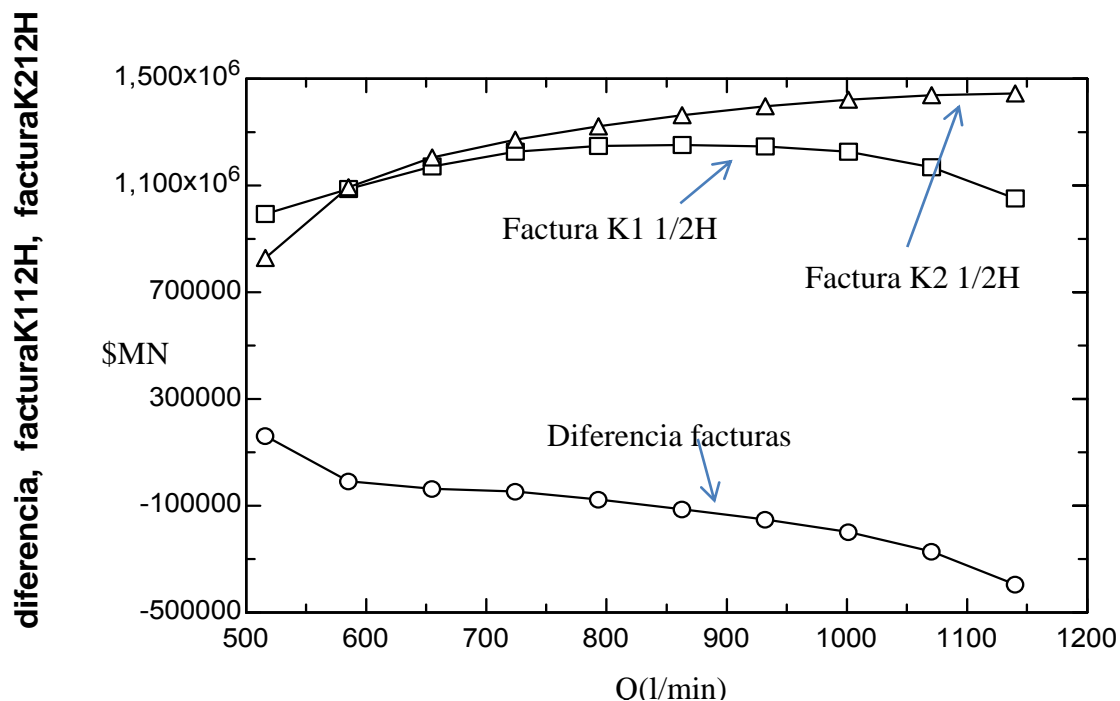


FIGURA 2.3.4.13. Gráfica resultados económicos 24h y 0,765\$/kW

Para  $Q=516$  l/min la diferencia de la factura a favor de la K1 1/2H es de 161776 pesos, La diferencia es 0 en  $Q=578,2$  l/min. En  $Q=1140$  l/min al elegir la K2 1/2H ahorramos 395259 pesos.

-Para 24 horas y 1\$/kW:

TABLA 2.3.4.14. Resultados económicos para 24h y 1\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 212.095          | 1.298.000             | 1.084.000             | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -10.285          | 1.421.000             | 1.429.000             | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |

|          |           |           |       |       |       |       |
|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -46.572  | 1.531.000 | 1.576.000 | 8,862 | 9,12  | 654,7 | 654,7 |
| -60.405  | 1.605.000 | 1.663.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -98.933  | 1.631.000 | 1.728.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -147.879 | 1.636.000 | 1.782.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -197.274 | 1.630.000 | 1.826.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -257.798 | 1.603.000 | 1.859.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -354.352 | 1.528.000 | 1.880.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -516.056 | 1.375.000 | 1.889.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

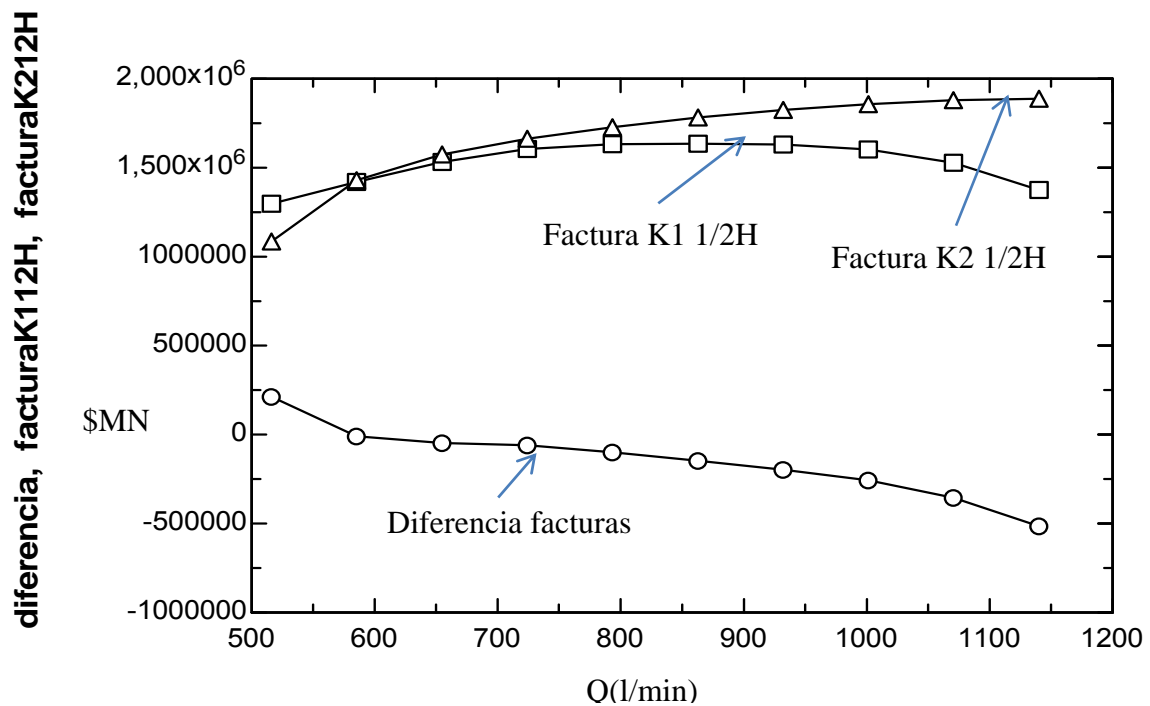


FIGURA 2.3.4.14. Gráfica resultados económicos 24h y 1\$/kW.

El punto donde la diferencia es 0 se da e  $Q=578,6$ . Si escogemos la bomba K1 1/2H en  $Q=516$  ahorraremos 212095 pesos. Si elegimos la bomba K2 1/2H para  $Q=1140$  el ahorro será de 516056 pesos.

-Para 24 horas y 1,5\$/kW:

TABLA 2.3.4.15. Resultados económicos para 24h y 1,5\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(kW) | Potencia K2 1/2H(kW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 319.157          | 1.947.000             | 1.626.000             | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |
| -14.413          | 2.132.000             | 2.144.000             | 8,224                | 8,272                | 585,3    | 585,3    |

|          |           |           |       |       |       |       |
|----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -68.844  | 2.297.000 | 2.364.000 | 8,862 | 9,12  | 654,7 | 654,7 |
| -89.594  | 2.407.000 | 2.494.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -147.385 | 2.447.000 | 2.593.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -220.804 | 2.454.000 | 2.673.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -294.897 | 2.445.000 | 2.738.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -385.683 | 2.404.000 | 2.788.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -530.514 | 2.292.000 | 2.820.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -773.070 | 2.062.000 | 2.833.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

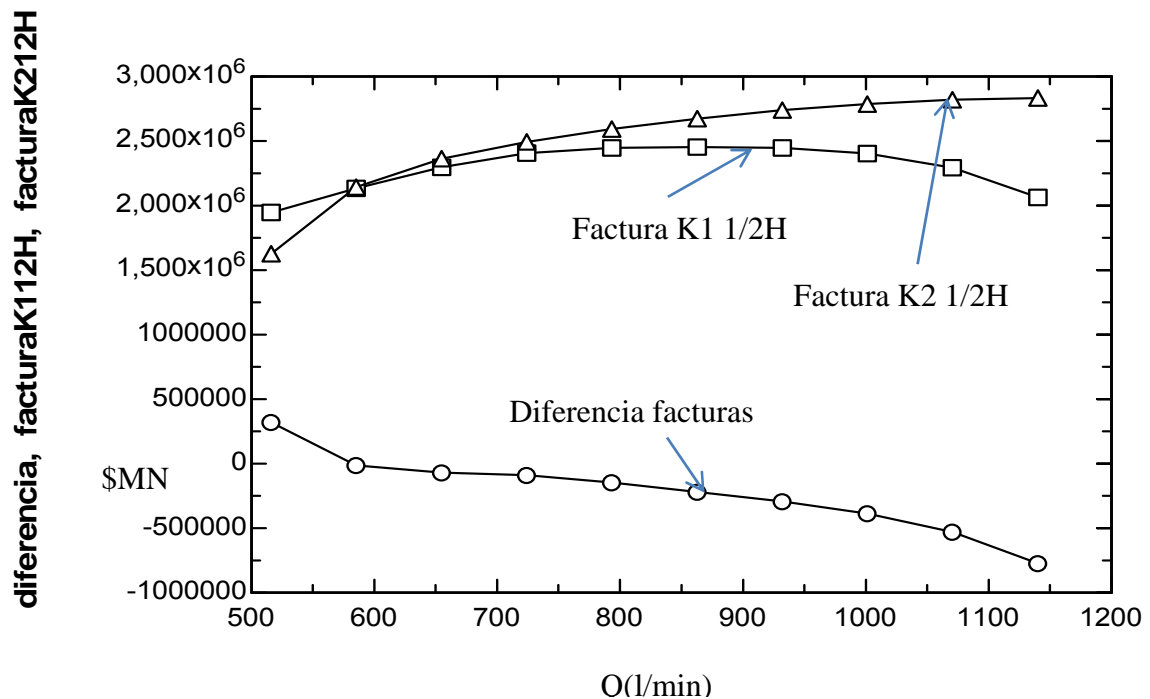


FIGURA 2.3.4.15. Gráfica resultados económicos 24h y 1,5\$/kW.

El momento donde la diferencia de facturas es 0 se da en  $x_3=Q=579$  l/min. En  $Q=516$  se encuentra la mayor diferencia a favor de  $denK1/2H$  ahorrando 319157 pesos. En  $Q=1140$  se encuentra el punto donde la  $K2/2Hr$  resulta más económica con una diferencia de 773070 pesos.

-Para 24 horas y 2\$/kW:

TABLA 2.3.4.16. Resultados económicos para 24h y 2\$/kW

| Diferencia(\$MN) | factura K1 1/2H(\$MN) | factura K2 1/2H(\$MN) | Potencia K1 1/2H(KW) | Potencia K2 1/2H(KW) | Q(l/min) | Q(l/min) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| 426.219          | 2.596.000             | 2.168.000             | 7,511                | 6,272                | 516      | 516      |

|            |           |           |       |       |       |       |
|------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| -18.541    | 2.842.000 | 2.859.000 | 8,224 | 8,272 | 585,3 | 585,3 |
| -91.116    | 3.063.000 | 3.152.000 | 8,862 | 9,12  | 654,7 | 654,7 |
| -118.782   | 3.209.000 | 3.326.000 | 9,285 | 9,623 | 724   | 724   |
| -195.837   | 3.263.000 | 3.457.000 | 9,441 | 10    | 793,3 | 793,3 |
| -293.729   | 3.272.000 | 3.564.000 | 9,469 | 10,31 | 862,7 | 862,7 |
| -392.521   | 3.261.000 | 3.651.000 | 9,435 | 10,56 | 932   | 932   |
| -513.568   | 3.206.000 | 3.717.000 | 9,276 | 10,76 | 1001  | 1001  |
| -706.676   | 3.056.000 | 3.760.000 | 8,841 | 10,88 | 1071  | 1071  |
| -1.030.000 | 2.749.000 | 3.777.000 | 7,955 | 10,93 | 1140  | 1140  |

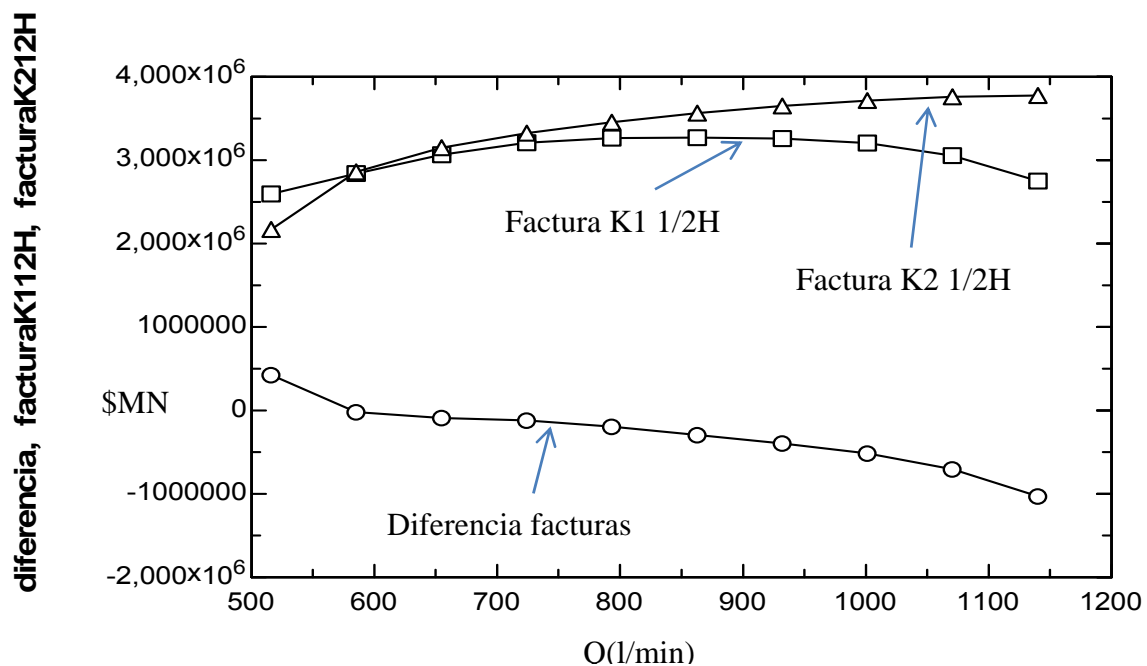


FIGURA 2.3.4.16. Gráfica resultados económicos 24h y 2\$kW.

El punto donde la diferencia es 0 es en  $x_3=Q=579,2$  l/min desde 516 l/min hasta dicho punto la mejor opción es la K1 1/2H ahorrándonos para 516 l/min 426.219,00 pesos. El punto donde resulta mejor la otra bomba es para  $Q=1140$  con un ahorro de 1.030.000,00 pesos.

### 2.3.5) Comparación de resultados

Se puede observar como las gráficas tiene un comportamiento parecido pero con diferentes magnitudes de costos. Para el caso de 1 hora la diferencia máxima llega a 23.342,00 y para el caso de 24 horas la diferencia entre las

facturas de las bombas llega a ser de 1.030.000,00 pesos para un caudal de 1140 litros por minuto.

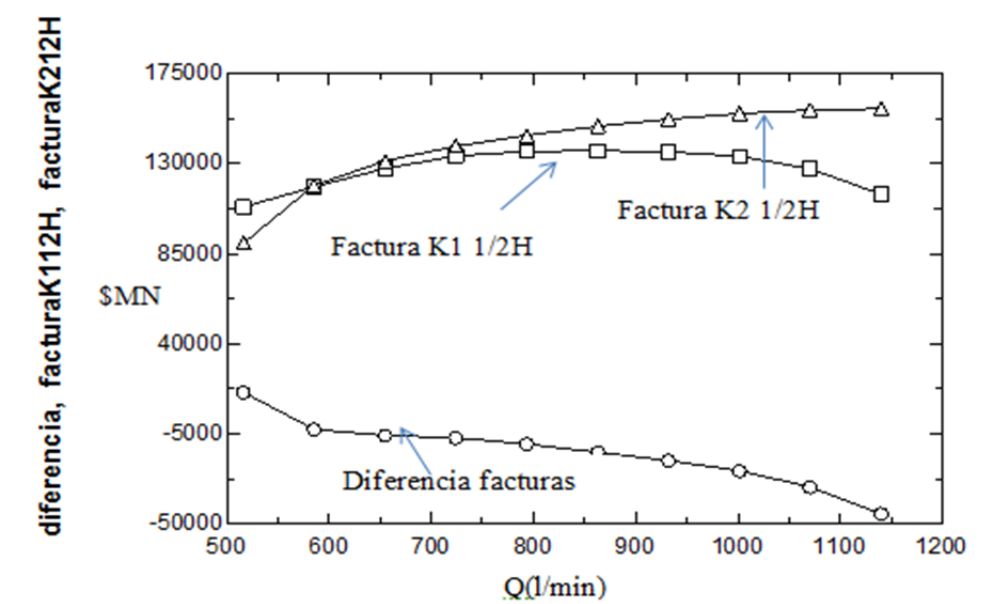


FIGURA 2.3.5.1 Gráfica resultados económicos 1h y 2\$kW

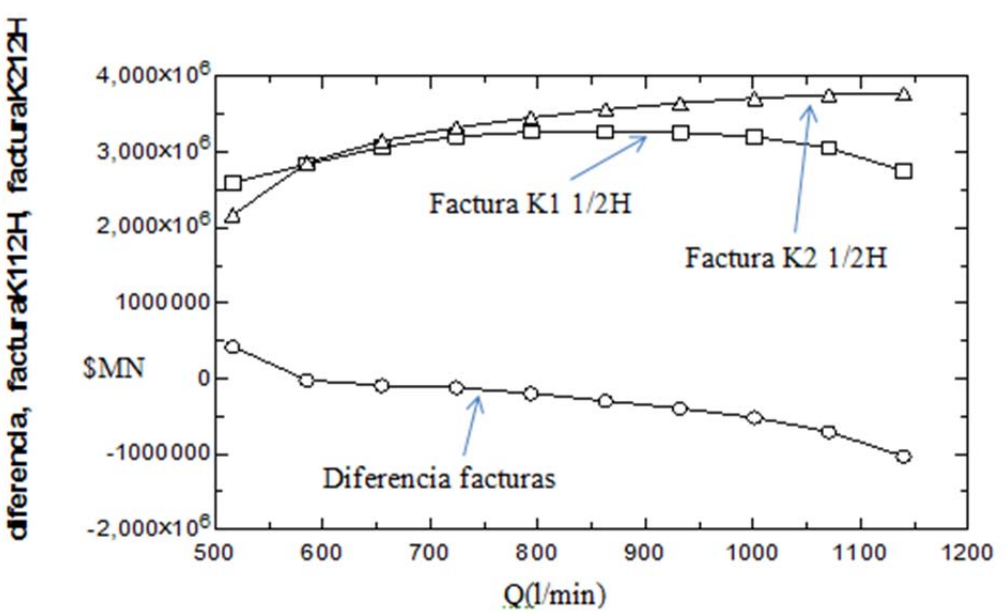


FIGURA 2.3.5.2 Gráfica resultados económicos 24h y 2\$kW

# CONCLUSIONES

El objetivo que se ha perseguido a lo largo de la realización de esta tesis es buscar y obtener un sistema de bombeo eficiente que logre reducir los costes de energía eléctrica y su incremento de la vida útil del equipo. Para ello se han realizado dos casos de estudio, uno comparando bombas de un 1HP y otro con

bombas de 20HP, en cada caso se han utilizado bombas con idénticas características eléctricas pero con diferentes partes mecánicas. Para poder realizar el objetivo se han hecho cálculos para diferentes tarifas de facturas de luz para comparar el costo de cada bomba a lo largo de su vida útil y poder determinar cuando conviene económicamente una bomba y cuando otra.

Como se ha mostrado en los resultados a través de las tablas y gráficas se ha visto que una mala elección a la hora de comprar una bomba puede repercutir un gran incremento de la factura de electricidad a lo largo de la vida útil de la bomba, por ejemplo, para el caso de las bombas de 20HP trabajando 24 horas al día con un precio de Watt/hora de 2 pesos mexicanos la diferencia entre las facturas de las bombas llega a ser de 1.030.000,00 de pesos. Por lo que a la hora de escoger una bomba hay que mirar más allá del precio.

También se ha observado que dos bombas con un mismo campo de trabajo de caudal dependiendo el punto de caudal que miremos es más eficiente y rentable una bomba que otra, por ejemplo, en el caso de las bombas de 1HP con un precio de 2 pesos mexicanos de Watt/h y trabajando durante las 24 horas del día si queremos una bomba que trabaje a 20 l/min nos sale más rentable la bomba PKm 80 a pesar de que la bomba JCRm 10M también es capaz de trabajar para ese caudal y es más cara pudiendo parecer mejor. Si para el mismo caso se quiere trabajar para que la bomba nos dé un caudal de 40,81 l/min da igual que elegir porque el precio de la factura es el mismo pero si se quiere trabajar con un caudal de 50 l/min es más rentable elegir la bomba JCRm 10M a pesar de que la PKm 80 también es capaz de trabajar en esas condiciones y es más barata.

Otra conclusión que se saca de este estudio es la diferencia del rendimiento y por consecuencia de costo de la factura de la bomba que se halla con el único cambio del tipo de rodete de la bomba, trabajando con idéntico motor eléctrico.

Para concluir se puede determinar que el comportamiento de la bomba varía en función de la eficiencia del motor, del tipo de rodete y de la vida útil de la bomba. Estos puntos han de tenerse en cuenta a la hora de elegir una bomba

ya que el ahorro económico que se puede obtener al elegir bomba adecuada puede llegar a ser importante.

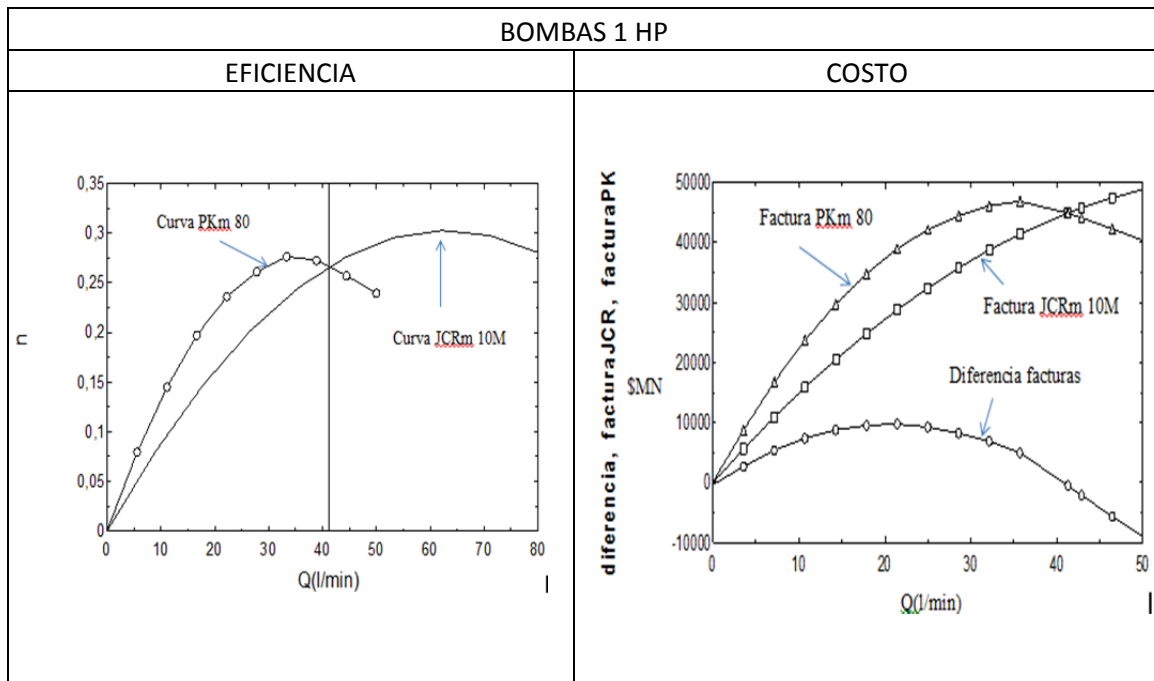


FIGURA 1. Resumen resultados eficiencia y económico para 24h y 2\$KW de bombas 1HP

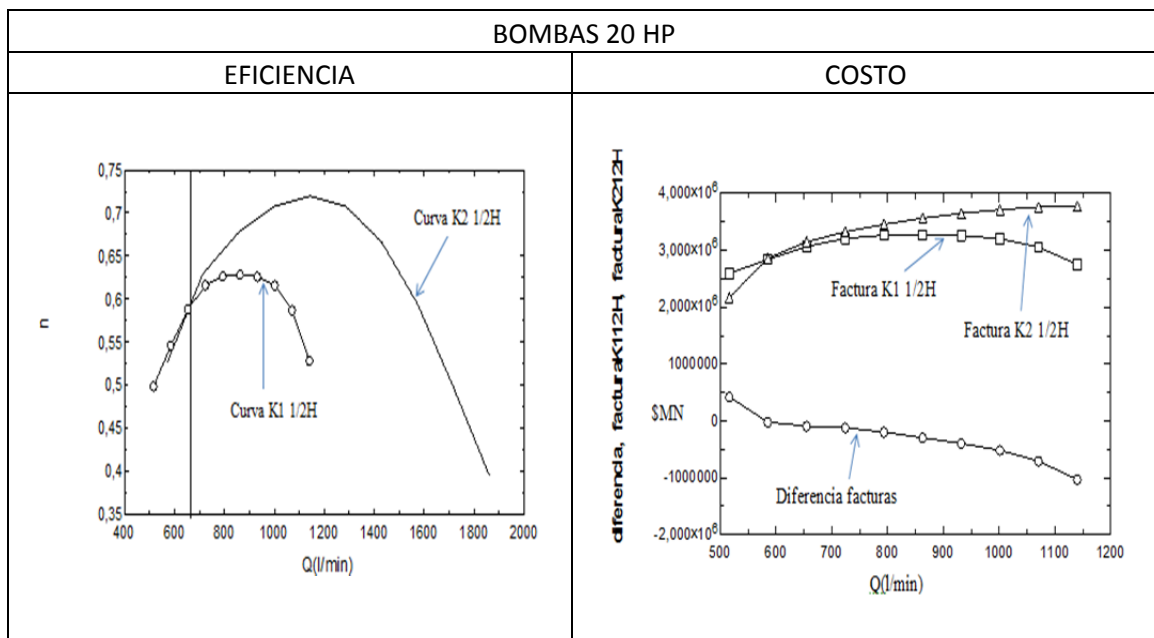


FIGURA 2. Resumen resultados eficiencia y económico para 24h y 2\$KW de bombas 20HP

### Referencia bibliográfica

- “Máquinas Eléctricas” Stephen J. Chapman Edit. Mc Graw Hill 4ta Ed. 2004 ISBN 970-10-4947-0



- <http://bombascentrifugas.info-tecnica.org>
- <http://www.koslan.cl>
- Programa Tablecurve 3D
- “Bombas centrifugas” Quantz.L Edit.labor
- <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas>
- “Assessment and Optimization of Pumping Systems in Commercial Buildings” Gregory Scott Towsley
- “SCREENING PUMPING SYSTEMS FOR ENERGY SAVINGS OPPORTUNITIES” Don Casada, Vestal Tutterow
- [http://www.duppsbv.com/proceso\\_de\\_bombeo.html](http://www.duppsbv.com/proceso_de_bombeo.html)
- [http://www.indec.cl/bombas\\_en\\_serie\\_13.html](http://www.indec.cl/bombas_en_serie_13.html)
- “Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas”. **MATAIX. C.**, 1ª. ed., México D.F-México., Harla., 1982., Pp. 9.1-11.1, 18.1-19.11